

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-071514  
(43)Date of publication of application : 08.03.2002

(51)Int.Cl. G01M 11/02  
G01B 11/24  
G03F 7/20  
H01L 21/027

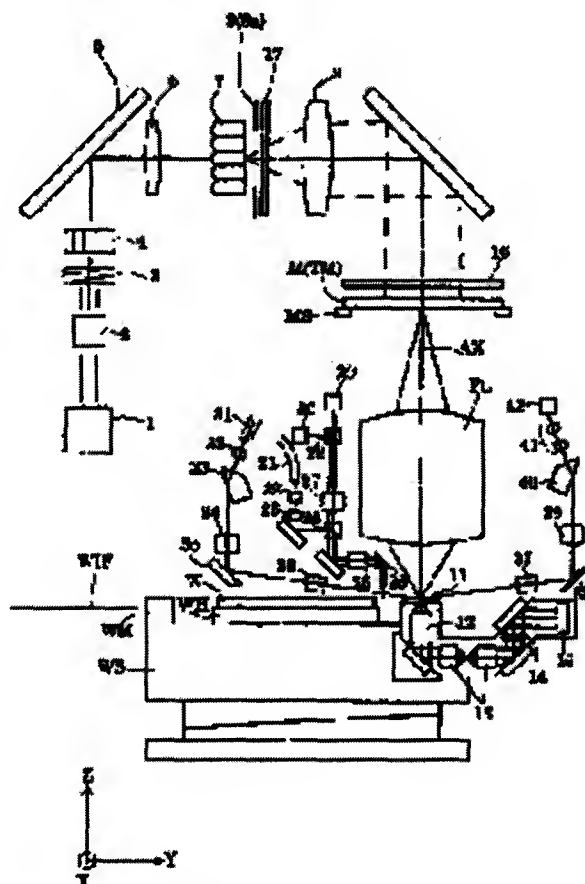
(21)Application number : 2000-258085 (71) NIKON CORP  
(22)Date of filing : 28.08.2000 (72)Inventor : NAGAYAMA TADASHI

(54) INSPECTION APPARATUS, EXPOSURE APPARATUS PROVIDED WITH THE INSPECTION APPARATUS AND PRODUCTION METHOD OF MICRO DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an inspection apparatus capable of accurately measuring an aberration based on sufficient measurement light quantity without using a very small pin hole for generating a spherical wave.

SOLUTION: The inspection apparatus is for measuring wavefront aberration of an optical system to be inspected (PL). Illumination units (1 to 9, 16) for illuminating opening (TM) positioned on an object surface of the optical system to be inspected (PL) with the number of openings over the opening number on the object side of the optical system to be inspected (PL), wavefront separating elements (14) for separating light from a primary image of the opening formed on the image surface of the optical system to be inspected with the wavefront and forming a multitude of the secondary images of the openings and a photoelectric detector (15) for photoelectrically detecting a multitude of the secondary images formed with the wavefront separating elements are provided.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The lighting unit for illuminating opening positioned in the body side of said test optical system with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of said test optical system in the test equipment for measuring the wave aberration of a test optical system, The wavefront-splitting component for carrying out wavefront splitting of the light from the primary image of said opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, Test equipment characterized by having the photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of the secondary image of said large number formed of said wavefront-splitting component.

[Claim 2] Said lighting unit is test equipment according to claim 1 characterized by having a numerical-aperture amplification means for expanding the numerical aperture of the flux of light from the illumination system and this illumination system for supplying the illumination light to said opening.

[Claim 3] Said numerical-aperture amplification means is test equipment according to claim 2 characterized by having the diffused-light faculty material for being arranged free [ insertion and detachment ] and diffusing the flux of light in the optical path between said illumination systems and body sides of said test optical system.

[Claim 4] Said numerical-aperture amplification means is test equipment according to claim 3 characterized by having a brightness property equalization means for equalizing the brightness property of the illumination-light bundle which gets worse by said diffused-light faculty material.

[Claim 5] It is the aligner characterized by for said illumination system in said test equipment being able to illuminate said mask, and measuring wave aberration with said test equipment in the aligner equipped with the projection optical system for forming the pattern image of the illuminated mask on a photosensitive substrate by equipping claim 2 thru/or any 1 term of 4 with the test equipment of a publication, and using said projection optical system as said test optical system.

[Claim 6] Test equipment characterized by having the container reference plate attached in the aberration system of measurement and said aberration system of measurement for measuring the wave aberration of a test optical system in one, and the location detection system for detecting the location of said container reference plate.

[Claim 7] Said location detection system is test equipment according to claim 6 characterized by having the 1st detection system for detecting the location of said aberration system of measurement along a field vertical to the optical axis of said test optical system, and the 2nd detection system for detecting the location of said aberration system of measurement which met in the direction of an optical axis of said test optical system.

[Claim 8] Said container reference plate has a base plane vertical to the optical axis of said aberration system of measurement, and an alignment mark and a reflector are formed on this base plane. Said 1st detection system The location of said aberration system of measurement which met said base plane based on said alignment mark is detected. Said 2nd detection system Test equipment according to claim 7 characterized by detecting the location of said aberration system of measurement which met in the direction of a normal of said base plane based on the flux of light which was made to carry out incidence of the flux of light from across to said reflector, and was reflected in said reflector.

[Claim 9] Said container reference plate is test equipment according to claim 6 characterized by having a base plane vertical to the optical axis of said aberration system of measurement, and forming either an

alignment mark or the reflectors on this base plane.

[Claim 10] It has further a lighting unit for illuminating opening positioned in the body side of said test optical system with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of said test optical system. Said aberration system of measurement The wavefront-splitting component for carrying out wavefront splitting of the light from the primary image of said opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, Test equipment given in claim 6 characterized by having a photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of the secondary image of said large number formed of this wavefront-splitting component thru/or any 1 term of 9.

[Claim 11] Said container reference plate has a base plane vertical to the optical axis of said aberration system of measurement. Said aberration system of measurement The wavefront-splitting component for carrying out wavefront splitting of the light from the primary image of opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, It has a photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of the secondary image of said large number formed of this wavefront-splitting component. Said base plane is arranged in the detection side of said photoelectrical detecting element, and a location [ \*\*\*\* / optical almost ]. Test equipment given in claim 6 characterized by forming opening for proofreading for measuring the error of said aberration system of measurement on said base plane, and proofreading said aberration system of measurement thru/or any 1 term of 10.

[Claim 12] Said opening for proofreading is test equipment according to claim 11 characterized by being substantially set up greatly rather than the primary image of said opening formed on said base plane.

[Claim 13] The aligner characterized by equipping claim 6 thru/or any 1 term of 12 with the test equipment of a publication, and measuring wave aberration with said test equipment in the aligner equipped with the projection optical system for forming the pattern image of the illuminated mask on a photosensitive substrate by using said projection optical system as said test optical system.

[Claim 14] It is the aligner which is equipped with the test equipment according to claim 7 or 8 for measuring wave aberration in the aligner equipped with the projection optical system for forming the pattern image of the illuminated mask on a photosensitive substrate by using said projection optical system as said test optical system, and is characterized by said 2nd detection system detecting the location of said photosensitive substrate which met in the direction of an optical axis of said projection optical system.

[Claim 15] It is the aligner which equips claim 10 for measuring wave aberration in the aligner equipped with the projection optical system for forming the pattern image of the illuminated mask on a photosensitive substrate by using said projection optical system as said test optical system thru/or any 1 term of 12 with the test equipment of a publication, and is characterized by the ability of said lighting unit in said test equipment to illuminate said mask.

[Claim 16] Test equipment characterized by amending the output of said aberration system of measurement about said test optical system based on the error information which was equipped with the error measurement means for measuring the error of said aberration system of measurement in the test equipment for measuring the wave aberration of a test optical system using aberration system of measurement, and was measured with said error measurement means.

[Claim 17] The wavefront-splitting component for said aberration system of measurement carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, It has a photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of the image of said large number formed of this wavefront-splitting component. Said error measurement means Have opening for proofreading formed near said predetermined side, and said opening for proofreading is illuminated by the light through said test optical system. Test equipment according to claim 16 characterized by measuring the error of said aberration system of measurement based on many images of said opening for proofreading formed of said wavefront-splitting component.

[Claim 18] Test equipment characterized by having a unit for memorizing the error of said aberration system of measurement in the test equipment for measuring the wave aberration of a test optical system using aberration system of measurement, and amending the output of said aberration system of measurement about said test optical system based on the error information from said unit.

[Claim 19] The aligner characterized by equipping claim 16 thru/or any 1 term of 18 with the test equipment of a publication, and measuring wave aberration with said test equipment in the aligner equipped with the illumination system for illuminating a mask, and the projection optical system for forming the pattern image of said mask on a photosensitive substrate by using said projection optical system as said test optical system.

[Claim 20] claim 5 characterized by adjusting the optical property of said projection optical system based on the measurement result by said test equipment, and 13- an aligner given in any 1 term of 15 and 19.

[Claim 21] The manufacture approach of the micro device characterized by including the exposure process which exposes the pattern of said mask on said photosensitive substrate using the aligner of a publication in claims 5, 13-15 and any 1 term of 19 and 20, and the development process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process.

[Claim 22] The inspection approach characterized by to include the error measurement process which measures the error of said aberration system of measurement, the aberration measurement process which measure the wave aberration of said test optical system using said aberration system of measurement, and the amendment process which amend the aberration measured value of said test optical system obtained at said aberration measurement process based on the error information measured at said error measurement process in the inspection approach which measures the wave aberration of a test optical system using aberration system of measurement.

[Claim 23] The inspection approach according to claim 22 characterized by predicting change of the error which measures the error of said aberration system of measurement in a predetermined environment, and originates in fluctuation of said environment at said error measurement process based on this measurement error.

[Claim 24] The auxiliary process which said aberration measurement process carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, The auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting is included. Said error measurement process The auxiliary process which positions and illuminates opening to said predetermined side, and the auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from said opening, and forms many images, The inspection approach according to claim 22 or 23 characterized by including the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[Claim 25] The auxiliary process which said aberration measurement process carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, The auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting is included. Said error measurement process The auxiliary process which generates a spherical wave by positioning and illuminating a pinhole to said predetermined side or its near, The inspection approach according to claim 22 or 23 characterized by including the auxiliary process which carries out wavefront splitting of this spherical wave, and forms many images, and the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[Claim 26] The auxiliary process which said aberration measurement process carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, The auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting is included. Said error measurement process The auxiliary process which illuminates opening for proofreading positioned near [ said ] the predetermined side, The inspection approach according to claim 22 or 23 characterized by including the auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from this opening for proofreading, and forms many images, and the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[Claim 27] The exposure approach characterized by to include the adjustment process which adjusts said projection optical system based on the wave aberration of said projection optical system which measured in the exposure approach which carries out projection exposure of the pattern image of a mask on a photosensitive substrate through a projection optical system by the inspection approach given [ the wave

aberration of said projection optical system ] in claim 22 thru/or any 1 term of 26, by having used said projection optical system as said test optical system, and was amended by said amendment process.

[Claim 28] The exposure approach according to claim 27 which measures the error in either [ at least ] a predetermined atmospheric pressure or the predetermined wavelength, and is characterized by predicting change of the error which originates in one [ at least ] fluctuation of an atmospheric pressure and the wavelength based on the measured error at said error measurement process.

[Claim 29] The exposure approach according to claim 27 or 28 characterized by predicting change of the error which originates in fluctuation of temperature based on two or more errors which measured and measured the error in two or more temperature conditions at said error measurement process.

[Claim 30] The manufacture approach of the micro device characterized by including the exposure process which exposes the pattern of said mask on said photosensitive substrate using the exposure approach of a publication in claim 27 thru/or any 1 term of 29, and the development process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the manufacture approach of test equipment, the aligner equipped with this test equipment, and a micro device. Especially this invention relates to measurement of the wave aberration of the projection optical system carried in the aligner for manufacturing micro devices, such as a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display component, or the thin film magnetic head, at a lithography process.

[0002]

[Description of the Prior Art] In case a semiconductor device etc. is manufactured at a photolithography process, the aligner which carries out projection exposure of the pattern image of a mask at photosensitive substrates (a wafer, a glass substrate, plate, etc.) is used. In this kind of aligner, in order to project a mask pattern image on a photosensitive substrate faithfully with high resolution, the projection optical system which has the good optical-character ability by which many aberration was fully controlled is designed.

[0003] However, unlike the optical-character ability on a design, in the projection optical system of the aligner manufactured actually, many aberration resulting from various factors remains. Then, the various equipments for measuring conventionally the aberration which remains in a test optical system like a projection optical system carried in the aligner are proposed. For example, the aberration measuring device which measures the wave aberration of a test optical system based on the spherical wave which the international disclosure WO 99/No. 60361 official report was made to generate using the minimum pinhole is indicated.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the conventional aberration measuring device indicated by the above-mentioned official report, there was inconvenience that errors, such as wave aberration which equipment itself generates, influenced the aberration measurement result of a test optical system (added). Moreover, in the conventional aberration measuring device, there was inconvenience that first stage-positioning and position control of equipment were difficult. Furthermore, in the conventional aberration measuring device, since the pinhole of a pole minor diameter was used in order to generate a spherical wave, there was inconvenience that the amounts of measuring beams ran short remarkably.

[0005] This invention is made in view of the above-mentioned technical problem, and aims at offering the aligner equipped with the high test equipment and this test equipment of the accuracy of measurement with which errors, such as wave aberration which equipment itself generates, do not influence the aberration measurement result of a test optical system substantially.

[0006] Moreover, this invention aims at offering the aligner equipped with the test equipment and this test equipment which can carry out promptly first stage-positioning and position control of aberration system of measurement to high degree of accuracy, as a result can perform quick and exact aberration measurement.

[0007] Furthermore, this invention aims at offering the aligner equipped with the test equipment and this test equipment which can perform highly precise aberration measurement based on sufficient amount of measuring beams, without using the minimum pinhole for generating a spherical wave.

[0008] Moreover, this invention aims at offering the manufacture approach of a micro device that a good micro device can be manufactured by high resolving power, using the projection optical system adjusted

good based on highly precise aberration measurement.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In order to solve said technical problem, in the 1st invention of this invention The lighting unit for illuminating opening positioned in the body side of said test optical system with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of said test optical system in the test equipment for measuring the wave aberration of a test optical system, The wavefront-splitting component for carrying out wavefront splitting of the light from the primary image of said opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, The test equipment characterized by having the photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of the secondary image of said large number formed of said wavefront-splitting component is offered.

[0010] If the 1st invention is caused like the 1st voice, as for said lighting unit, it is desirable to have a numerical-aperture amplification means for expanding the numerical aperture of the flux of light from the illumination system and this illumination system for supplying the illumination light to said opening. Moreover, if the 1st invention is caused like the 2nd voice, as for said numerical-aperture amplification means, it is desirable to have the diffused-light faculty material for being arranged free [ insertion and detachment ] and diffusing the flux of light in the optical path between said illumination systems and body sides of said test optical system. Furthermore, if the 1st invention is caused like the 3rd voice, as for said numerical-aperture amplification means, it is desirable to have a brightness property equalization means for equalizing the brightness property of the illumination-light bundle which gets worse by said diffused-light faculty material.

[0011] Moreover, if the 1st invention is caused like the 4th voice, as for said brightness property equalization means, it is desirable to have a neutral density filter for being arranged free [ insertion and detachment ] and forming the flux of light of optical predetermined intensity distribution all over the illumination-light way of said illumination system. Furthermore, if the 1st invention is caused like the 5th voice, as for said brightness property equalization means, it is desirable to have the surface light source means forming for forming the zona-orbicularis-like surface light source into the optical path of said illumination system in the pupil of said projection optical system and a location [ \*\*\*\* / optical almost ]. Moreover, if the 1st invention is caused like the 6th voice, as for said wavefront-splitting component, it is desirable to have the microlens of a large number arranged two-dimensional.

[0012] the aligner equipped with the projection optical system for forming the pattern image of the illuminated mask on a photosensitive substrate in the 2nd invention of this invention -- setting -- 2nd mode [ of the 1st invention ] - it has test equipment [ like ] the 6th voice, and said illumination system in said test equipment can illuminate said mask, and the aligner characterized by measuring wave aberration with said test equipment by using said projection optical system as said test optical system is offered.

[0013] In the 3rd invention of this invention, the test equipment characterized by having the container reference plate attached in the aberration system of measurement and said aberration system of measurement for measuring the wave aberration of a test optical system in one and the location detection system for detecting the location of said container reference plate is offered.

[0014] If the 3rd invention is caused like the 1st voice, as for said location detection system, it is desirable to have the 1st detection system for detecting the location of said aberration system of measurement along a field vertical to the optical axis of said test optical system and the 2nd detection system for detecting the location of said aberration system of measurement which met in the direction of an optical axis of said test optical system. If the 3rd invention is caused like the 2nd voice, moreover, said container reference plate It has a base plane vertical to the optical axis of said aberration system of measurement, and an alignment mark and a reflector are formed on this base plane. Said 1st detection system The location of said aberration system of measurement which met said base plane based on said alignment mark is detected. Said 2nd detection system It is desirable to detect the location of said aberration system of measurement which met in the direction of a normal of said base plane based on the flux of light which was made to carry out incidence of the flux of light from across to said reflector, and was reflected in said reflector.

[0015] Furthermore, if the 3rd invention is caused like the 3rd voice, as for said container reference plate, it is desirable that have a base plane vertical to the optical axis of said aberration system of measurement, and either an alignment mark or the reflectors are formed on this base plane. Moreover, it has further a lighting



unit for illuminating opening positioned in the body side of said test optical system with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of said test optical system, if the 3rd invention is caused like the 4th voice. The wavefront-splitting component for said aberration system of measurement carrying out wavefront splitting of the light from the primary image of said opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, It is desirable to have a photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of the secondary image of said large number formed of this wavefront-splitting component.

[0016] If the 3rd invention is caused like the 5th voice, furthermore, said container reference plate It has a base plane vertical to the optical axis of said aberration system of measurement. Said aberration system of measurement The wavefront-splitting component for carrying out wavefront splitting of the light from the primary image of opening formed in the image surface of said test optical system, and forming many secondary images of said opening, It has a photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of the secondary image of said large number formed of this wavefront-splitting component. As for said base plane, it is desirable that opening for proofreading for being arranged in the detection side of said photoelectrical detecting element and a location [ \*\*\*\* / optical almost ], measuring the error of said aberration system of measurement on said base plane, and proofreading said aberration system of measurement is formed. Moreover, if the 3rd invention is caused like the 6th voice, as for said opening for proofreading, it is more desirable than the primary image of said opening formed on said base plane to be set up greatly substantially.

[0017] In the 4th invention of this invention, in the aligner equipped with the projection optical system for forming the pattern image of the illuminated mask on a photosensitive substrate, it has test equipment of the 3rd invention and the aligner characterized by measuring wave aberration with said test equipment by using said projection optical system as said test optical system is offered.

[0018] In the 5th invention of this invention, the aligner characterized by to detect the location of the 1st mode of the 4th invention for measuring wave aberration by using said projection optical system as said test optical system or said photosensitivity substrate to which it had test equipment [ like ] the 2nd voice, and said 2nd detection system met in the direction of an optical axis of said projection optical system offers in the aligner equipped with the projection optical system for forming the pattern image of the illuminated mask on a photosensitive substrate.

[0019] 4th mode [ of the 3rd invention for measuring wave aberration in the aligner equipped with the projection optical system for forming the pattern image of the illuminated mask on a photosensitive substrate in the 6th invention of this invention by using said projection optical system as said test optical system ] - having test equipment [ like ] the 6th voice, said lighting unit in said test equipment offers the aligner characterized by it being possible to illuminate said mask.

[0020] If the 4th invention and the 6th invention are caused like the 1st voice, as for said lighting unit, it is desirable to have a numerical-aperture amplification means for expanding the numerical aperture of the flux of light from the illumination system and this illumination system for supplying the illumination light to said opening. Moreover, if the 4th invention and the 6th invention are caused like the 2nd voice, as for said numerical-aperture amplification means, it is desirable to have the diffused-light faculty material for being arranged free [ insertion and detachment ] and diffusing the flux of light in the optical path between said illumination systems and body sides of said test optical system. Furthermore, if the 4th invention and the 6th invention are caused like the 3rd voice, as for said numerical-aperture amplification means, it is desirable to have a brightness property equalization means for equalizing the brightness property of the illumination-light bundle which gets worse by said diffused-light faculty material.

[0021] Moreover, if the 4th invention and the 6th invention are caused like the 4th voice, as for said brightness property equalization means, it is desirable to have a neutral density filter for being arranged free [ insertion and detachment ] and forming the flux of light of optical predetermined intensity distribution all over the illumination-light way of said illumination system. Furthermore, if the 4th invention and the 6th invention are caused like the 5th voice, as for said brightness property equalization means, it is desirable to have the surface light source means forming for forming the zona-orbicularis-like surface light source into the optical path of said illumination system in the pupil of said projection optical system and a location [ \*\*\*\* / optical almost ].

[0022] In the 7th invention of this invention, in the test equipment for measuring the wave aberration of a test optical system using aberration system of measurement, it has an error measurement means for measuring the error of said aberration system of measurement, and the test equipment characterized by amending the output of said aberration system of measurement about said test optical system is offered based on the error information measured with said error measurement means.

[0023] If the 7th invention is caused like the 1st voice, said aberration system of measurement The wavefront-splitting component for carrying out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forming many images of said predetermined side, It has a photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of the image of said large number formed of this wavefront-splitting component. Said error measurement means It is desirable to measure the error of said aberration system of measurement based on many images of said opening for proofreading which has opening for proofreading formed near said predetermined side, illuminated said opening for proofreading by the light through said test optical system, and was formed of said wavefront-splitting component.

[0024] In the 8th invention of this invention, in the test equipment for measuring the wave aberration of a test optical system using aberration system of measurement, it has a unit for memorizing the error of said aberration system of measurement, and the test equipment characterized by amending the output of said aberration system of measurement about said test optical system is offered based on the error information from said unit.

[0025] In the 9th invention of this invention, in the aligner equipped with the illumination system for illuminating a mask, and the projection optical system for forming the pattern image of said mask on a photosensitive substrate, it has test equipment of the 7th invention or the 8th invention, and the aligner characterized by measuring wave aberration with said test equipment by using said projection optical system as said test optical system is offered.

[0026] In the 2nd invention, the 4th invention - the 6th invention, and the 9th invention, it is desirable to adjust the optical property of said projection optical system based on the measurement result by said test equipment.

[0027] In the 10th invention of this invention, the manufacture approach of the micro device characterized by including the exposure process which exposes the pattern of said mask on said photosensitive substrate using the aligner of the 2nd invention, the 4th invention - the 6th invention, and the 9th invention, and the development process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process is offered.

[0028] In the inspection approach which measures the wave aberration of a test optical system in the 11th invention of this invention using aberration system of measurement The error measurement process which measures the error of said aberration system of measurement, and the aberration measurement process which measures the wave aberration of said test optical system using said aberration system of measurement, The inspection approach characterized by including the amendment process which amends the aberration measured value of said test optical system obtained at said aberration measurement process based on the error information measured at said error measurement process is offered.

[0029] If the 11th invention is caused like the 1st voice, it is desirable to predict change of the error which measures the error of said aberration system of measurement in a predetermined environment, and originates in fluctuation of said environment at said error measurement process based on this measurement error. Moreover, if the 11th invention is caused like the 2nd voice, at said error measurement process, the error in a predetermined atmospheric pressure and predetermined wavelength is measured, and it is desirable to predict change of the error which originates in fluctuation of an atmospheric pressure and fluctuation of wavelength based on the measured error. Furthermore, if the 11th invention is caused like the 3rd voice, it is desirable to predict change of the error which originates in fluctuation of temperature based on two or more errors which measured and measured the error in two or more temperature conditions at said error measurement process.

[0030] If the 11th invention is caused like the 4th voice, moreover, said aberration measurement process The auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, and the auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting are included. Said error

measurement process It is desirable to include the auxiliary process which positions and illuminates opening to said predetermined side, the auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from said opening, and forms many images, and the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[0031] If the 11th invention is caused like the 5th voice, furthermore, said aberration measurement process The auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, and the auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting are included. Said error measurement process The auxiliary process which generates a spherical wave by positioning and illuminating a pinhole to said predetermined side or its near, It is desirable to include the auxiliary process which carries out wavefront splitting of this spherical wave, and forms many images, and the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[0032] If the 11th invention is caused like the 6th voice, moreover, said aberration measurement process The auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, and the auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting are included. Said error measurement process It is desirable to include the auxiliary process which illuminates opening for proofreading positioned near [ said ] the predetermined side, the auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from this opening for proofreading, and forms many images, and the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[0033] In the 12th invention of this invention, the wave aberration of said projection optical system measures by the inspection approach of the 11th invention by using said projection optical system as said test optical system, and the exposure approach characterized by to include the adjustment process which adjusts said projection optical system based on the wave aberration of said projection optical system amended by said amendment process offers in the exposure approach which carries out projection exposure of the pattern image of a mask on a photosensitive substrate through a projection optical system.

[0034] If the 12th invention is caused like the 1st voice, at said error measurement process, the error in either [ at least ] a predetermined atmospheric pressure or the predetermined wavelength is measured, and it is desirable to predict change of the error which originates in one [ at least ] fluctuation of an atmospheric pressure and the wavelength based on the measured error. Moreover, if the 12th invention is caused like the 2nd voice, it is desirable to predict change of the error which originates in fluctuation of temperature based on two or more errors which measured and measured the error in two or more temperature conditions at said error measurement process.

[0035] If the 12th invention is caused like the 3rd voice, furthermore, said aberration measurement process The auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, and the auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting are included. Said error measurement process It is desirable to include the auxiliary process which positions and illuminates opening to said predetermined side, the auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from said opening, and forms many images, and the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[0036] If the 12th invention is caused like the 4th voice, moreover, said aberration measurement process The auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, and the auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting are included. Said error measurement process The auxiliary process which generates a spherical wave by positioning and illuminating a pinhole to said predetermined side or its near, It is desirable to include the auxiliary process which carries out wavefront splitting of this spherical wave, and forms many images, and the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[0037] If the 12th invention is caused like the 5th voice, furthermore, said aberration measurement process The auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from a predetermined side, and forms many images of said predetermined side, and the auxiliary process which carries out photoelectrical detection of the image of said large number formed of wavefront splitting are included. Said error measurement process It is desirable to include the auxiliary process which illuminates opening for proofreading positioned near [ said ] the predetermined side, the auxiliary process which carries out wavefront splitting of the light from this opening for proofreading, and forms many images, and the auxiliary process which measures the error of said aberration system of measurement based on the image of said large number formed of wavefront splitting.

[0038] Moreover, if the 12th invention is caused like the 6th voice, it is desirable to expand the numerical aperture of the flux of light through said projection optical system at said error measurement process, and to illuminate said opening for proofreading with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of said aberration system of measurement.

[0039] In the 13th invention of this invention, the manufacture approach of the micro device characterized by including the exposure process which exposes the pattern of said mask on said photosensitive substrate using the exposure approach of the 12th invention, and the development process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process is offered.

[0040]

[Embodiment of the Invention] In this invention, the method which illuminates opening positioned in the body side of a test optical system with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of a test optical system (incoherent lighting), and carries out wavefront splitting of the light from the primary image of opening formed in the image surface of a test optical system, for example, forms many secondary images of opening on the light-receiving side of a photoelectrical detecting element like CCD is adopted. That is, since it is the method to which image formation of the opening of resolvable magnitude is carried out in CCD, it is not necessary to form this opening as the minimum pinhole like before, and to generate a spherical wave in this invention.

[0041] That is, although it is necessary with the conventional technique to form the minimum pinhole where roundness is high in order to generate an exact spherical wave, in this invention, the configuration of opening is not limited to a circle configuration and the formation precision is not so strict, either. Consequently, it becomes possible to offer a remarkable big illuminance as compared with the case of the conventional technique using the minimum pinhole to CCD which is an image sensor. If it puts in another way, in this invention, highly precise aberration measurement can be performed based on sufficient amount of measuring beams, without using the minimum pinhole for generating a spherical wave.

[0042] Moreover, in this invention, it has the container reference plate attached in the aberration system of measurement for measuring the wave aberration of a test optical system in one, and the location detection system for detecting the location of this container reference plate. For example, the alignment mark and the reflector are formed in this container reference plate. When following, for example, applying this invention to an aligner, if the location of the container reference plate along a field vertical to the optical axis of a projection optical system is pulled based on an alignment mark using the FIA system (it mentions later for details) carried in the aligner, the location along XY flat surface of aberration system of measurement can be detected.

[0043] Moreover, if the field location of the container reference plate which met in the direction of an optical axis of a projection optical system is pulled based on the flux of light which was made to carry out incidence of the flux of light from across to a reflector, and was reflected in the reflector using the 2-dimensional AF system (it mentions later for details) of the oblique incidence type carried in the aligner, the Z direction location of aberration system of measurement, the inclination of the circumference of the X-axis, and the inclination of the circumference of a Y-axis are detectable. In this way, highly precise alignment (alignment) and position control can be promptly performed to same extent as the wafer in an aligner. That is, in this invention, first stage-positioning and position control of aberration system of measurement can be promptly carried out to high degree of accuracy, as a result quick and exact aberration measurement can be performed. In addition, although the FIA system carried in the aligner is used with this operation gestalt mentioned later in order to detect the location along XY flat surface of aberration system of measurement,

as this location detection system, it is not restricted to a FIA system. For example, the LIA system currently indicated by the U.S. Pat. No. 4,710,026 official report, the U.S. Pat. No. 5,151,750 official report, and the U.S. Pat. No. 5,859,707 official report, the LSA system currently indicated by the U.S. Pat. No. 4,677,301 official report and the U.S. Pat. No. 5,151,750 official report, or a length measurement interferometer can be used. It is desirable in considering as the configuration which attaches the reflecting mirror for making the configuration which attaches the reflecting mirror for making the configuration and the container reference plate which establishes the reflector for reflecting the length-measurement beam from a length-measurement interferometer in the end face of a container reference plate reflect the length-measurement beam from a length-measurement interferometer, or the case with which the container reference plate is attached reflect the length-measurement beam from a length-measurement interferometer here when detecting the location of XY flat surface of a container reference plate using a length-measurement interferometer. Moreover, although the 2-dimensional AF system carried in the aligner is used with this operation gestalt mentioned later in order to detect the location of the Z direction of aberration system of measurement, the inclination of the circumference of the X-axis, and the inclination of the circumference of a Y-axis, as this location detection system, it is not restricted to a 2-dimensional AF system. For example, a length measurement interferometer, an air micro, and an electrostatic-capacity sensor can be used, or the autofocus function in a FIA system which is indicated by the U.S. Pat. No. 5,721,605 official report and the U.S. Pat. No. 5,783,833 official report can be used. Moreover, if the above-mentioned reflector and the reflector which inclined to XY flat surface in the above-mentioned reflecting mirror are established as indicated by JP,2000-39305,A or JP,2000-49066,A when detecting the location of XY flat surface of a container reference plate using a length measurement interferometer as mentioned above, it will become possible to detect the location of the Z direction of a container reference plate, as a result aberration system of measurement, the inclination of the circumference of the X-axis, and the inclination of the circumference of a Y-axis.

[0044] Furthermore, opening for proofreading is formed in the above-mentioned container reference plate in this invention. Therefore, the light from opening for proofreading forms many images on the light-receiving side of CCD by illuminating this opening for proofreading. Although each image of opening for proofreading is tidily located in a line and should be formed in the design value, the location gap of the quantity of light center-of-gravity location of each opening image measured actually will be carried out under the effect of the wave aberration of aberration system of measurement etc. from the ideal location assumed on the design.

[0045] Here, a location gap of each generated opening image originates only in aberration system of measurement. So, in this invention, the location of each opening image obtained by the above-mentioned self-calibration is set as each zero for measurement. Consequently, wave aberration measurement with a high precision can be performed, without errors, such as wave aberration which the aberration system of measurement itself generates by measuring wave aberration based on each set-up zero for measurement, influencing the measurement result of a test optical system substantially.

[0046] The operation gestalt of this invention is explained based on an accompanying drawing. Drawing 1 is drawing showing roughly the configuration of the aligner equipped with the test equipment concerning the operation gestalt of this invention. In drawing 1, the X-axis is set [ the Z-axis ] up in the direction vertical to the space of drawing 1 for the Y-axis in a wafer side in the direction parallel to the space of drawing 1 in a wafer side along the direction of a normal of the wafer W which is a photosensitive substrate, respectively. In addition, although drawing 1 shows the condition at the time of the aberration measurement which positioned the container reference plate of test equipment to the image surface of a projection optical system PL, at the time of the location detection using a FIA system or the autofocus system of an oblique incidence method, and projection exposure, Wafer W is positioned in the image surface of a projection optical system PL.

[0047] The aligner of drawing 1 is equipped with the excimer laser which supplies wavelength (248nm (KrF) or 193nm (ArF)) of light as the light source 1 for supplying exposure light (illumination light). Mostly, after [ which was injected from the light source 1 ] being orthopedically operated by the flux of light of a predetermined cross section through the beam plastic surgery optical system 2, incidence of the parallel flux of light is carried out to the coherence reduction section 3. The coherence reduction section 3 has the function to reduce generating of the interference pattern on the mask M which is an irradiated plane



(as a result, on Wafer W). About the detail of the coherence reduction section 3, it is indicated by JP,59-226317,A, for example.

[0048] The flux of light from the coherence reduction section 3 forms much light sources in an after that side focal plane through the 1st fly eye lens 4. The light from the light source of these large number illuminates the 2nd fly eye lens 6 in superposition through the relay optical system 6, after being deflected by the oscillating mirror 5. Here, the oscillating mirror 5 is a bending mirror rotated to the circumference of the X-axis, and has the function to reduce generating of the interference pattern in an irradiated plane. In this way, the secondary light source which consists of much light sources is formed in a backside [ the 2nd fly eye lens 7 ] focal plane. The flux of light from this secondary light source carries out homogeneity lighting of the mask M with which the predetermined pattern was formed in the bottom side in superposition through the capacitor optical system 9, after being restricted by the aperture diaphragm 8 arranged in that near.

[0049] The flux of light which penetrated the pattern of Mask M forms the image of a mask pattern through a projection optical system PL on the wafer W which is a photosensitive substrate. Mask M is laid in the mask stage MS through the mask holder (un-illustrating). In addition, a mask stage MS is driven by the mask stage control section (un-illustrating) based on the command from a main control system (un-illustrating). At this time, migration of a mask stage MS is measured in a mask interferometer (un-illustrating) and the migration mirror (un-illustrating) formed in the mask stage MS.

[0050] On the other hand, the vacuum chuck of the wafer W is carried out to the wafer holder WH on the wafer stage WS. The wafer stage WS is driven by the wafer stage control section (un-illustrating) based on the command from a main control system (un-illustrating). At this time, migration of the wafer stage WS is measured in the wafer interferometer WIF and the migration mirror WM formed in the wafer stage WS. In this way, the wafer stage WS has the locomotive function of the direction of X, the locomotive function of the direction of Y, the locomotive function of a Z direction, the revolution function of the circumference of the Z-axis, the tilt function of the circumference of the X-axis, and the tilt function of the circumference of a Y-axis, and position control is carried out by the wafer interferometer WIF and the wafer stage control section by nano order.

[0051] Moreover, the aligner of drawing 1 is equipped with the FIA (Field Image Alignment) system of an off-axis method as a 1st location detection system for detecting the location of the wafer W along the flat surface vertical to an optical axis AX, i.e., XY flat surface, of a projection optical system. This FIA system is equipped with the halogen lamp (un-illustrating) as the light source for supplying the illumination light with wide wavelength bandwidth. Incidence of the illumination light from the light source is carried out to a light guide 21 through relay optical system (un-illustrating). Incidence of the light which spread the interior of a light guide 21 is carried out to the half prism 24 through a condenser lens 22 and a relay lens 23.

[0052] The illumination light reflected by the half prism 24 carries out epi-illumination of each alignment mark (for example, the line and tooth-space pattern of the line of the direction of X, a tooth-space pattern, and the direction of Y) formed on Wafer W through the 1st objective lens 25 and a reflecting prism 26. Incidence of the reflected light from each illuminated alignment mark is carried out to the half prism 24 through a reflecting prism 26 and the 1st objective lens 25. Incidence of the light which penetrated the half prism 24 is carried out to the half prism 28 through the 2nd objective lens 27. The light which penetrated the half prism 28 reaches in the direction CCD 29 of X, and the light reflected by the half prism 28 reaches in the direction CCD 30 of Y.

[0053] Here, the amplification image of the direction alignment mark of X is formed in the image pick-up side of the direction CCD 29 of X, and the amplification image of the direction alignment mark of Y is formed in the image pick-up side of the direction CCD 30 of Y. In this way, by carrying out the image processing of the image pick-up signal acquired in the direction CCD 29 of X, and the direction CCD 30 of Y, if the location along XY flat surface of each alignment mark is pulled, the location along XY flat surface of Wafer W is detected. And based on the positional information of each detected alignment mark, alignment along XY flat surface of Wafer W can be performed. In addition, about the detail of a FIA system, it is indicated by JP,4-65603,A, JP,4-273246,A, etc., for example.

[0054] Furthermore, the aligner of drawing 1 is equipped with the so-called two-dimension autofocus system (AF system) of an oblique incidence method as a 2nd location detection system for detecting the location of the wafer W in alignment with the direction, i.e., the Z direction, of an optical axis AX of a

projection optical system. The 2-dimensional AF system of this oblique incidence method is equipped with the halogen lamp (un-illustrating) as the light source for supplying the white light with wavelength width of face wide as a detection light. Incidence of the illumination light from the light source is carried out to a light guide 31 through relay optical system (un-illustrating). After the light which spread the interior of a light guide 31 is mostly changed into the parallel flux of light through a condenser lens 32, incidence of it is carried out to a polarizing prism 33. A polarizing prism 33 deflects the parallel flux of light from a condenser lens 32 according to a refraction operation mostly. Moreover, the transparency mold grid pattern with which the long and slender transparency section prolonged in the direction of X and the long and slender protection-from-light section prolonged in the direction of X were prepared by turns in the fixed pitch is formed in the polarizing prism's 33 injection side.

[0055] Incidence of the light which penetrated the transparency mold grid pattern of a polarizing prism 33 is carried out to the condenser lens 34 for projection arranged in accordance with an optical axis parallel to the optical axis AX of a projection optical system PL. The flux of light through the condenser lens 34 for projection reaches Wafer W in a necessary incident angle through a mirror 35 and the objective lens 36 for projection. In this way, on Wafer W, the primary image of the grid pattern as a 2-dimensional slit projection pattern covers the whole, and is formed at accuracy. Incidence of the light reflected with Wafer W is carried out to the condenser lens 39 for light-receiving through the objective lens 37 for light-receiving, and the oscillating mirror 38. Incidence of the light through the condenser lens 39 for light-receiving is carried out to the above-mentioned polarizing prism 33 and the swing-and-tilt amendment prism 40 which has the same configuration.

[0056] In this way, the secondary image of a grid pattern is formed in the plane of incidence of the swing-and-tilt amendment prism 40. In addition, the 2-dimensional light-receiving slit as a protection-from-light means is prepared in the plane of incidence of the swing-and-tilt amendment prism 40. Incidence of the light injected from the injection side of the swing-and-tilt amendment prism 40 is carried out to the relay optical system 41 which consists of lenses of a couple. The light through the relay optical system 41 forms the conjugate image of the secondary image of a grid pattern and opening of a light-receiving slit which were formed on the plane of incidence of the swing-and-tilt amendment prism 40 on the light-receiving side of a light sensing portion 42. Two or more silicon photodiodes as a 2-dimensional photo sensor are formed in the light-receiving side so that it may correspond to two or more openings of a light-receiving slit optically.

[0057] In addition, the injection side of a polarizing prism 33 and the exposure side of Wafer W in which the grid pattern was formed, and the plane of incidence of the swing-and-tilt amendment prism 40 and the exposure side of Wafer W in which the 2-dimensional light-receiving slit was formed have conjugation relation which fulfilled the conditions of the Shine proof. Here, if Wafer W carries out vertical migration in accordance with the optical axis AX of a projection optical system PL at a Z direction, corresponding to vertical migration of Wafer W, as for the secondary image of the grid pattern formed on the plane of incidence of the swing-and-tilt amendment prism 40, a strike slip will be started in the pitch direction of a pattern.

[0058] In this way, the field location of the wafer W which carried out photoelectrical detection of the amount of strike slips of the secondary image of a grid pattern, and met the optical axis AX of a projection optical system PL by the principle of a photoelectric microscope based on the amount of strike slips which carried out photoelectrical detection is detected. Moreover, the field location of the wafer W which met the optical axis AX of a projection optical system PL according to the 2-dimensional multipoint autofocus method is detected two-dimensional. Consequently, alignment of the field location of Wafer W can be carried out in the direction of a focus of a projection optical system PL two-dimensional by moving the wafer stage WS to a Z direction, or carrying out a tilt to the circumference of the X-axis, and the circumference of a Y-axis. In addition, about the detail of the principle of a photoelectric microscope, it is indicated by JP,56-42205,A, for example. Moreover, about the detail of a 2-dimensional multipoint autofocus method, it is indicated by JP,6-97045,A, for example.

[0059] As mentioned above, in the aligner of drawing 1, it exposes by positioning Mask M and Wafer W to high degree of accuracy to a projection optical system PL. Moreover, alignment of exchanged Mask M and exchanged Wafer W is carried out to high degree of accuracy, they are piled up, and exposure is repeated. At this time, location detection of Wafer W is carried out to high degree of accuracy by an above-mentioned

FIA system and an above-mentioned 2-dimensional AF system at the time of exchange of Wafer W. And position control of Wafer W is carried out to high degree of accuracy by the wafer interferometer WIF and the wafer stage control section. In this way, various patterns are formed in each exposure field of Wafer W by repeating the heavy exposure to Wafer W.

[0060] The aligner of this operation gestalt is equipped with the test equipment for measuring the wave aberration of a projection optical system PL. Drawing 2 is drawing showing roughly the important section configuration of the test equipment of drawing 1, and is drawing showing the condition of having developed aberration system of measurement in accordance with the optical axis. Hereafter, with reference to drawing 1 and drawing 2, the configuration of the test equipment of this operation gestalt is explained. In the test equipment of this operation gestalt, the test mask TM for aberration measurement is installed on a mask stage MS on the occasion of measurement of the wave aberration of the projection optical system PL as a test optical system. As shown in the test mask TM at drawing 3, two or more ( drawing 3 nine pieces) opening 10a of the circle configuration for aberration measurement is formed in the shape of a matrix along the direction of X, and the direction of Y. Moreover, opening 10b of the shape of a big square is formed more nearly substantially than opening 10a.

[0061] Moreover, the test equipment of this operation gestalt is equipped with the container reference plate 11 attached on the wafer stage WS in the almost same height location (Z direction location) as the exposure side of Wafer W. It consists of a glass substrate, and it is vertical to the optical axis AX of a projection optical system PL, as a result a container reference plate 11 has base plane 11a vertical to the optical axis AX1 of the aberration system of measurement mentioned later. As shown on this base plane 11a at drawing 4, opening (light transmission section) 11b for proofreading is formed in that center section, and two or more sets ( drawing 4 4 sets) alignment mark 11c is formed around it.

[0062] Here, opening 11b for proofreading is set up more greatly than the image of opening 10a of the test mask TM formed through a projection optical system PL. Moreover, alignment mark 11c of each class consists of the lines and tooth-space patterns which were formed along the line, and the tooth-space pattern and the direction of Y formed along the direction of X. Furthermore, 11d of reflectors is formed in the field except opening 11b for proofreading, and two or more alignment mark 11c. 11d of reflectors is formed by vapor-depositing chromium (Cr) to a glass substrate.

[0063] Furthermore, the test equipment of this operation gestalt is equipped with the aberration system of measurement as optical system for measuring the wave aberration of a projection optical system PL. In aberration system of measurement, the light from the image of opening 10a of the test mask TM formed in the image surface through the projection optical system PL carries out incidence to the micro fly eye 14 through a collimate lens 12 and a relay lens 13. The micro fly eye 14 is an optical element which consists of microlens 14a of a large number which have the forward refractive power of the shape of a square arranged in all directions and densely, as shown in drawing 5. The micro fly eye 14 is constituted by performing etching processing to for example, a parallel flat-surface glass plate, and forming a microlens group.

[0064] Therefore, the flux of light which carried out incidence to the micro fly eye 14 is divided by much microlens 14a two-dimensional, and one image of opening 10a is formed near the backside [ each microlens 14a ] focal plane, respectively. A paraphrase forms many images of opening 10a near the backside [ the micro fly eye 14 ] focal plane. In this way, the image of formed a large number is detected by CCD15 as a 2-dimensional image sensor. The output of CCD15 is supplied to the signal-processing unit 19. Thus, the micro fly eye 14 constitutes the wavefront-splitting component for carrying out wavefront splitting of the light from the primary image of opening 10a of the test mask TM formed in the image surface of projection optical system PL \*\*, and forming many secondary images of opening 10a.

[0065] Moreover, CCD15 constitutes the photoelectrical detecting element for carrying out photoelectrical detection of many secondary images of opening 10a formed of the micro fly eye 14 as a wavefront-splitting component. Furthermore, as shown in drawing 1, a collimate lens 12, a relay lens 13, the micro fly eye 14, and CCD15 are formed in the interior of a mask stage MS, and constitute the aberration system of measurement as optical system for measuring the wave aberration of a projection optical system PL. Consequently, the container reference plate 11 is attached in aberration system of measurement (12-15) in one.

[0066] Generally, in the aligner, the numerical aperture (NA) of the illumination light supplied from an



illumination system (1-9) is set up smaller than the body side numerical aperture of a projection optical system PL. Therefore, even if it illuminates opening 10a of the test mask TM using an illumination system (1-9), incidence will be carried out to a projection optical system PL with numerical aperture with an inadequate light through opening 10a. Then, in order to illuminate opening 10a with the numerical aperture  $NA_i$  more than the body side numerical aperture  $NA_p$  of a projection optical system PL (incoherent lighting), the test equipment of this operation gestalt is equipped with the lemon skin plate 16 for being arranged free [ insertion and detachment ] and diffusing the flux of light in the optical path between an illumination system (1-9) and the test mask TM, as shown in drawing 1 .

[0067] Drawing 6 is drawing showing a dispersion property when the parallel flux of light carries out incidence to a lemon skin plate. Moreover, drawing 7 is drawing which compares the luminance distribution in the lighting NA of the flux of light which carries out incidence to a test mask, when the luminance distribution and the lemon skin plate in the lighting NA of the flux of light which carries out incidence to a test mask when not installing a lemon skin plate are installed. If drawing 6 and drawing 7 are referred to, in order to expand the numerical aperture of the flux of light from an illumination system (1-9), when the lemon skin plate 16 is installed, it turns out that the brightness property of an illumination-light bundle gets worse. So, with this operation gestalt, it has the neutral density filter 17 for being arranged free [ insertion and detachment ] near [ in which the secondary light source is formed ] the aperture diaphragm 8, and forming the flux of light of optical predetermined intensity distribution all over the illumination-light way of an illumination system (1-9).

[0068] Here, the brightness property of the illumination-light bundle which gets worse with the lemon skin plate 16 can be mostly equalized by giving permeability distribution of a reverse normal-distribution configuration as shown in drawing 8 to a neutral density filter 17 to the lemon skin plate 16 which has the dispersion property of a normal-distribution configuration as shown in drawing 6 . Or by installing the zona-orbicularis aperture diaphragm which replaces with an aperture diaphragm 8 and has zona-orbicularis-like opening, and restricting the secondary light source in the shape of zona orbicularis, as shown in drawing 9 , the brightness property of the illumination-light bundle which gets worse with the lemon skin plate 16 can also be equalized mostly. Of course, installation of a neutral density filter 17 and installation of zona-orbicularis aperture-diaphragm 8a which has zona-orbicularis-like opening can also be used together.

[0069] As mentioned above, the lemon skin plate 16 and the neutral density filter 17 (the need is accepted and it is zona-orbicularis aperture-diaphragm 8a) constitute the numerical-aperture amplification means for expanding the numerical aperture of the flux of light from an illumination system (1-9). And the lemon skin plate 16 constitutes the diffused-light faculty material for being arranged free [ insertion and detachment ] and diffusing the flux of light in the optical path between an illumination system (1-9) and the test mask TM. Moreover, the neutral density filter 17 (the need is accepted and it is zona-orbicularis aperture-diaphragm 8a) constitutes the brightness property equalization means for equalizing the brightness property of the illumination-light bundle which gets worse with the lemon skin plate 16. It can replace with installation of the lemon skin plate 16, and lemon skin processing of the upside side of the test mask TM can also be carried out.

[0070] Generally, the dispersion property of a lemon skin plate can be changed to some extent according to the field surface roughness of the grinding stone at the time of making a lemon skin plate, and the difference of the floor to floor time at the time of carrying out the chemical treatment of the front face from an acid. In addition, it is also possible to maintain mostly the brightness property in the lighting NA of the flux of light to which it replaced with the lemon skin plate 16, remarkable DOE (diffracted-light study component: differential-gear RAKUTIBU OPUTIKUSU element) of current technical progress was used, and numerical aperture was expanded to homogeneity. DOE is constituted by usually forming a diffraction pattern with photolithography on a glass plate, and DOE which has a property which makes the brightness property of the scattered light homogeneity mostly to a fixed include angle is also developed. Therefore, when using DOE as diffused-light faculty material, installation of zona-orbicularis aperture-diaphragm 8a which has installation of a neutral density filter 17 and zona-orbicularis-like opening can also be omitted. In addition, in recent years, the numerical aperture of the illumination light supplied from the illumination system of an aligner tends to become large. When the numerical aperture of the illumination light supplied from the illumination system of an aligner is set up here more greatly enough than the body side numerical aperture

of a projection optical system PL, it is also possible to measure without using the lemon skin plate 16 as a numerical-aperture amplification means (for example, when it being  $\sigma \geq 1$ ).

[0071] With this operation gestalt, as mentioned above, opening 10a is illuminated with the numerical aperture  $NA_i$  more than the body side numerical aperture  $NA_p$  of a projection optical system PL. In this case, as shown in drawing 10, it is possible to think that the image formation optical system of mutually-independent a large number exists in each microlens 14a of every [ of the micro fly eye 14 of aberration system of measurement ]. Each image formation optical system will carry out incoherent image formation of the image of opening 10a in response to the effect of a part of wave aberration equivalent to the magnitude of each microlens 14a, respectively. At this time, as shown in drawing 11, aberration system of measurement is set up so that image 10i of opening 10a may be formed in the center of opening 11b for proofreading of a container reference plate 11. That is, opening 11b for proofreading is substantially set up greatly rather than image 10i of opening 10a formed through a projection optical system PL.

[0072] When it considers from an image formation theory and a tilt component (inclination component) is in wave aberration, it is obvious that the image formed through each microlens 14a carries out a location shift. That is, location gap of an image will occur to the average amount of wave-front inclinations. When it puts in another way, location gap of the image according to the partial amount of wave-front inclinations will occur for every image formation optical system, respectively. The condition of each image at this time is the same as the condition of the conventional point formed based on the spherical wave generated using the minimum pinhole. Therefore, measurement of wave aberration is attained by the same signal processing as the conventional technique.

[0073] When wave aberration does not remain in a projection optical system PL, specifically, the quantity of light center-of-gravity location of each image of opening 10a is formed in each home position for measurement. When there is no error resulting from wave aberration etc. in aberration system of measurement so that it may mention later, each home position for measurement is set up on the optical axis of each microlens 14a of the micro fly eye 14. Actually, since wave aberration remains in the projection optical system PL, the location gap of the quantity of light center-of-gravity location of each image of opening 10a is carried out from each home position for measurement. Therefore, with this operation gestalt, the wave aberration of a projection optical system PL will be measured based on the above-mentioned location gap information included in the output of CCD15.

[0074] However, since it is the method to which image formation of the opening 10a of resolvable magnitude is carried out in CCD15, it is not necessary to form opening 10a as the minimum pinhole like before, and to generate a spherical wave with this operation gestalt. That is, although it is necessary with the conventional technique to form the minimum pinhole where roundness is high in order to generate an exact spherical wave, the configuration of opening 10a is not limited to a circle configuration with this operation gestalt. Moreover, the permeability in the optical path from opening 10a to CCD15 is determined depending on the permeability of the optical member which constitutes aberration system of measurement, and degradation of the brightness by diffraction like [ in the case of the conventional technique using the minimum pinhole ] does not take place. Consequently, it becomes possible to offer a remarkable big illuminance as compared with the case of the conventional technique using the minimum pinhole to CCD15 which is an image sensor.

[0075] Hereafter, the actuation which measures the wave aberration of a projection optical system PL using the test equipment of this operation gestalt is explained. With this operation gestalt, as mentioned above, the container reference plate 11 attached in aberration system of measurement (12-15) in one is formed. And on base plane 11a of a container reference plate 11, while alignment mark 11c is formed by etching the chromium film etc., 11d of reflectors processed with required sufficient profile irregularity is formed. Therefore, if the location of the container reference plate 11 along XY flat surface is pulled based on alignment mark 11c using the above-mentioned FIA system carried in the aligner, the location of the aberration system of measurement along XY flat surface is detectable.

[0076] Moreover, if the field location of the container reference plate 11 in alignment with a Z direction is pulled based on the flux of light which was made to carry out incidence of the flux of light from across to 11d of reflectors, and was reflected at 11d of reflectors using the 2-dimensional AF system of the above-mentioned oblique incidence type carried in the aligner, the Z direction location of aberration system of

measurement, the inclination of the circumference of the X-axis, and the inclination of the circumference of a Y-axis are detectable. Furthermore, an operation of the above-mentioned wafer interferometer WIF carried in the aligner and a wafer stage actuator can perform promptly highly precise alignment (alignment) and position control to same extent as Wafer W.

[0077] If aberration system of measurement is carrying out the location gap to the projection optical system PL which is a test optical system at the direction of X, the direction of Y, the Z direction, etc., a wave aberration component of a low degree like a tilt component or a defocusing component will occur greatly. Then, in order to measure wave aberration, it is necessary to drive in a location gap of aberration system of measurement in a wave aberration measurement stroke. Furthermore, in order to raise the accuracy of measurement of wave aberration, it is desirable to measure wave aberration, where the above wave aberration components of a low degree are driven in as much as possible. By installing a container reference plate 11, quick position control becomes possible by the accuracy of aberration system of measurement, and above-mentioned last spurt actuation becomes easy. Consequently, the absolute value measurement precision of absolute location measurement of the focal field of a projection optical system PL or distortion can be raised.

[0078] The wafer stage WS is driven, and if aberration system of measurement is attracted into the exposure visual field field of a projection optical system PL, specifically, it is moved into the detection visual field field of a 2-dimensional AF system. In the condition, alignment of the base plane 11a of a container reference plate 11 is carried out to the image surface of a projection optical system PL using a 2-dimensional AF system. That is, the location in alignment with the Z direction of base plane 11a of a container reference plate 11, the inclination of the circumference of the X-axis, and the inclination of the circumference of a Y-axis are detected, and alignment adjustment is carried out so that base plane 11a may be mostly in agreement with the image surface of a projection optical system PL. Next, the wafer stage WS is driven along XY flat surface, and aberration system of measurement is moved into the detection visual field field of a FIA system. And the location along XY flat surface of the optical axis AX1 of aberration system of measurement is detected using a FIA system by carrying out location detection of the alignment mark 11c on a container reference plate 11.

[0079] In addition, the physical relationship information between alignment mark 11c on a container reference plate 11 and the optical axis AX1 of aberration system of measurement is beforehand recognized by control software as data like the usual wafer alignment. Moreover, since there is two or more sets of alignment mark 11c, still highly precise location detection is attained by EGA (en hunger strike global alignment), i.e., the equalization effectiveness of two or more data. In this way, aberration system of measurement is positioned in first stage to the location in which the 1st image of opening 10a arbitrarily chosen among two or more openings prepared in the test mask TM is formed through a projection optical system PL.

[0080] That is, the central point of the 1st image of opening 10a in which aberration system of measurement was formed through the projection optical system PL in the condition of having been positioned by accuracy in first stage, and the optical axis AX1 of aberration system of measurement are in agreement in XY flat surface. That is, as shown in drawing 11, the central point of image 10i of opening 10a and the central point of opening 11b for proofreading of a container reference plate 11 are in agreement in XY flat surface. In this initial state, the wave aberration of a projection optical system PL is measured based on the output of CCD15. the tilt component from this measurement result, a power component (defocusing component), and an astigmatic difference component (ASU component) -- asking -- the absolute value of a tilt component to distortion -- a power component to a focal field (image surface) -- a location can be absolutely asked for image surface \*\*\*\* from an astigmatic difference component, respectively.

[0081] Next, aberration system of measurement is made to move slightly so that a tilt component and a power component may become as small as possible. Based on amount of jogging delta[ of the amount delta x of jogging of the direction of X of the aberration system of measurement at this time, and the direction of Y ] y, the absolute value of distortion can also be calculated for the absolute location of a focal side based on amount of jogging deltaz of the Z direction of aberration system of measurement, respectively. In this way, where a tilt component and a power component are driven in as small as possible, based on the output of CCD15, the wave aberration of a projection optical system PL is eventually measured to high degree of

accuracy.

[0082] Measurement actuation of above-mentioned wave aberration is similarly performed one by one about two or more remaining openings prepared in the test mask TM. Thus, after positioning of the aberration system of measurement over the 1st opening of the test mask TM is completed using a container reference plate 11 Like original baking actuation of an aligner, while always carrying out alignment of the height location of a container reference plate 11 by the 2-dimensional AF system The location which met XY flat surface of the wafer stage WS based on the print-out of the wafer interferometer WIF can be controlled, and wave aberration in the arbitration coordinate location of a projection optical system PL can be measured (namely, measurement of the wave aberration to two or more remaining openings of the test mask TM).

[0083] As mentioned above, it is possible to drive in so that only a desired value may make aberration system of measurement move slightly and a tilt component and a power component may become small with this operation gestalt based on the tilt component and power component which it is as a result of [ of aberration system of measurement / first stage ] measurement. By this function, the measurement of highly precise wave aberration based on high-speed position control is attained. In addition, measurement of the wave aberration of a projection optical system PL is performed not only at the time of first stage adjustment and inspection of a projection optical system PL but at the time of subsequent inspection. Since measurement of the wave aberration at the time of inspection is performed by stopping in primary manufacture of the device which is the original object of an aligner, the quick nature of an activity is required. In this case, the ease and quick nature of position control of this operation gestalt serve as a very important element.

[0084] By the way, in order to measure to accuracy the wave aberration of the projection optical system PL carried in the aligner, how the effect of the wave aberration generated in the aberration system of measurement itself is processed poses a problem. Optical members, such as a collimate lens 12, a relay lens 13, the micro fly eye 14, CCD15, and a mirror (refer to drawing 1 ), are used for the aberration system of measurement of this operation gestalt. The manufacture error of these optical members is added to the measured value at the time of measurement of the wave aberration of a projection optical system PL. In order to suppress small the effect of the measured value on the wave aberration generated in the aberration system of measurement itself, the tolerance of each optical member which constitutes aberration system of measurement is set up very severely, and how to grasp beforehand the effect of the method of stopping small enough the wave aberration yield of aberration system of measurement as compared with the wave aberration yield of the projection optical system PL which is a test optical system, or the wave aberration generated in the aberration system of measurement itself, and amend measured value can be considered.

[0085] In the case of the projection optical system PL by which a test optical system is carried in an aligner, like this operation gestalt, it is actually next to impossible to stop small enough the wave aberration yield of aberration system of measurement as compared with a projection optical system PL. It is because the amount of wave aberration which remains in the projection optical system PL of an aligner is stopped by the from the first very small value. On the other hand, in order to set up severely the profile irregularity of the lens components which constitute aberration system of measurement, or mirror components, the homogeneity of the optical material (optical glass) itself must be raised, or the absolute value precision of the interferometer which measures profile irregularity must be raised.

[0086] In order to raise the precision of an interferometer, the improvement in the precision in components level which constitutes an interferometer, such as a FIZO lens and a reference spherical-surface mirror, and grasp with error are needed. A still severer precision is required of the grinder for raising profile irregularity itself, and the partial correction polish technique which amends profile irregularity selectively depending on the case must be applied. Thus, when it enumerates, it is turned out how it is difficult to stop small enough the wave aberration yield of the aberration system of measurement itself as compared with a projection optical system PL. Therefore, it holds down to the range which can permit the wave aberration yield of the aberration system of measurement itself to some extent, and it turns out that it is desirable to amend the effect of the wave aberration generated in the aberration system of measurement itself amending measured value based on the error of aberration system of measurement, i.e., by performing a self-calibration about aberration system of measurement.

[0087] Hereafter, with reference to drawing 12 , the procedure of the self-calibration of the aberration

system of measurement in this operation gestalt is explained. First, on the occasion of the self-calibration of aberration system of measurement, aberration system of measurement is positioned in the location in which the image of opening 10b (refer to drawing 3) of the shape of a square of the test mask TM is formed through a projection optical system PL. In this condition, the illumination light from an illumination system (1-9) will illuminate opening 11b for proofreading of a container reference plate 11 through a projection optical system PL. Here, the lighting field (image of opening 10b) formed on a container reference plate 11 through a projection optical system PL is more nearly substantially [ than opening 11b for proofreading ] large.

[0088] In this way, the light from opening 11 for proofreading b forms many images of opening 11b for proofreading on the light-receiving side of CCD15 through a collimate lens 12, a relay lens 13, and the micro fly eye 14. In the design value, on the optical axis of each microlens 14a of the micro fly eye 14, each image of opening 11b for proofreading is tidily located in a line, and should be formed. However, the location gap of the quantity of light center-of-gravity location of each opening image measured actually will be carried out from the ideal location assumed on the design according to the wave aberration of aberration system of measurement, the manufacture error of the micro fly eye 14, the array error of the photo detector of CCD15, etc.

[0089] Here, a location gap of each generated opening image does not originate only in aberration system of measurement, and is not influenced of the wave aberration of a projection optical system PL etc. In the self-calibration condition of drawing 12, it is because the projection optical system PL has achieved the function of the lighting relay optical system arranged in the optical path between an illumination system and aberration system of measurement. So, with this operation gestalt, the location of each opening image obtained by the self-calibration is set as each zero for measurement. And wave aberration measurement with a high precision can be performed, without errors, such as wave aberration which the aberration system of measurement itself generates by measuring wave aberration based on each set-up zero for measurement, influencing the measurement result of a projection optical system PL substantially. in addition, the approach and ratio which install opening for self-calibrations at every calibration since opening 11b for proofreading is formed with this operation gestalt on the container reference plate 11 attached in aberration system of measurement in one -- the error resulting from BE \*\* and a location gap of opening is not generated.

[0090] Moreover, the error by the difference between the environment at the time of the measurement which measures wave aberration actually, and the environment at the time of a self-calibration can be considered as an error generated on the occasion of measurement of the wave aberration of a test optical system. Specifically, the error resulting from fluctuation of wavelength, the error resulting from fluctuation of temperature, the error resulting from fluctuation of an atmospheric pressure, etc. are mentioned. the component mainly influenced although all of these environmental variations cause a measurement error of aberration system of measurement -- below the 3rd aberration -- low -- it is degree aberration (aberration to the Seidel's five aberrations as used in the field of geometrical optics).

[0091] Here, although the error resulting from fluctuation of wavelength and the error resulting from fluctuation of an atmospheric pressure affect aberration system of measurement, the yield of the error is as a design value mostly, and is considered [ that it can expect in software, and ]. Therefore, change of the error which originates in fluctuation of an atmospheric pressure and fluctuation of wavelength based on the error which measured the error in a predetermined atmospheric pressure and predetermined wavelength, and was measured at the time of a self-calibration can be predicted. The amount of fluctuation between the atmospheric pressures and wavelength at the time of the atmospheric pressure and the actual wavelength, and the actual self-calibration at the time of measurement is calculated, and, specifically, it is possible for it to be based on the calculated amount of fluctuation and the generating error amount at the time of a self-calibration, and to calculate the generating error amount at the time of actual measurement.

[0092] On the other hand, about the error resulting from fluctuation of temperature, the error generated under two or more temperature conditions at the time of a self-calibration can be measured, and change of the error which originates in fluctuation of temperature based on two or more measured errors can be predicted. Among the actual temperature at the time of measurement, and two or more measurement temperature which can be set at the time of a self-calibration, the amount of fluctuation between the measurement temperature nearest to actual temperature is calculated, and, specifically, it is possible for it to



be based on the calculated amount of fluctuation and the generating error amount at the time of a self-calibration, and to calculate the generating error amount at the time of actual measurement by the interpolation method (or extrapolation).

[0093] In addition, in the self-calibration condition of drawing 12 , in order to fulfill the conditions of incoherent lighting over opening 11b for proofreading, while expanding the path of adjustable opening of aperture-diaphragm AS arranged at the pupil of a projection optical system PL beyond the need (to for example, maximum), it is desirable to set up opening 10b of the test mask TM near the optical axis AX of a projection optical system PL. Moreover, it is desirable to install diffused-light faculty material like the lemon skin plate 18 into the optical path between a projection optical system PL and a container reference plate 11.

[0094] however -- the time of wanting to amend only the error which the self-calibration is performed in advance and originates in fluctuation of wavelength, an atmospheric pressure, or temperature -- an error amount -- low -- degree aberration -- and since it is small, it is not necessary to necessarily fulfill the conditions of incoherent lighting Although light does not carry out incidence to the microlens of the periphery of the micro fly eye 14 when not fulfilling the conditions of incoherent lighting, amendment with error is attained based on a location gap of the image formed through the microlens of a center section. That is, a self-calibration is performed in advance, and it asks for each home position, and sets up measurable at any time by a certain amount of accuracy of measurement, and offset may be added to each home position in the calibration before subsequent real measurement. Thus, although various the amendment approaches by the self-calibration are considered, there is no change in amending the effect of the wave aberration generated in the aberration system of measurement itself.

[0095] In this way, in the aligner concerning an above-mentioned operation gestalt, the error of aberration system of measurement (1-9) is measured by the self-calibration (error measurement process). The measured error is memorized by the memory section of the signal-processing unit 19 (refer to drawing 2 and drawing 10 ) connected to CCD15. And based on the error information which measured the wave aberration of the projection optical system PL as a test optical system using aberration system of measurement (aberration measurement process), and was measured by the self-calibration, the wave aberration measured value of a projection optical system PL is amended (amendment process). In this way, a projection optical system PL is adjusted based on the wave aberration of the amended projection optical system PL (adjustment process). On the occasion of adjustment of a projection optical system PL, make a lens move slightly, the pressure between lenses is controlled, or the optical member for aberration amendment is inserted.

[0096] Subsequently, a mask can be illuminated according to an illumination system (lighting process), and micro devices (a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display component, thin film magnetic head, etc.) can be manufactured by what is done at a photosensitive substrate for the scan exposure of the pattern for an imprint formed in the mask using the projection optical system (exposure process). By forming a predetermined circuit pattern in the wafer as a photosensitive substrate etc. hereafter using the aligner of this operation gestalt shown in drawing 1 explains with reference to the flow chart of drawing 13 per example of the technique at the time of obtaining the semiconductor device as a micro device.

[0097] First, in step 301 of drawing 13 , a metal membrane is vapor-deposited on the wafer of one lot. In the following step 302, a photoresist is applied on the metal membrane on the wafer of the 1 lot. Then, in step 303, the sequential exposure imprint of the image of the pattern on a mask is carried out to each shot field on the wafer of the one lot through the projection optical system (projection optics module) using the aligner shown in drawing 1 . Then, in step 304, after development of the photoresist on the wafer of the one lot is performed, in step 305, the circuit pattern corresponding to the pattern on a mask is formed in each shot field on each wafer by etching by using a resist pattern as a mask on the wafer of the one lot. Then, devices, such as a semiconductor device, are manufactured by performing formation of the circuit pattern of the upper layer etc. further. According to the above-mentioned semiconductor device manufacture approach, the semiconductor device which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0098] Moreover, in the aligner shown in drawing 1 , the liquid crystal display component as a micro device can also be obtained by forming predetermined patterns (a circuit pattern, electrode pattern, etc.) on a plate (glass substrate). Hereafter, with reference to the flow chart of drawing 14 , it explains per example of the

technique at this time. In drawing 14, the so-called optical lithography process which carries out imprint exposure of the pattern of a mask at photosensitive substrates (glass substrate with which the resist was applied) is performed at the pattern formation process 401 using the aligner of each operation gestalt. Of this optical lithography process, the predetermined pattern containing many electrodes etc. is formed on a photosensitive substrate. Then, by passing through each process, such as a development process, an etching process, and a reticle exfoliation process, a predetermined pattern is formed on a substrate and the exposed substrate shifts to the following light filter formation process 402.

[0099] Next, in the light filter formation process 402, many groups of three dots corresponding to R (Red), G (Green), and B (Blue) are arranged in the shape of a matrix, or form the light filter which arranged the group of three filters, R, G, and B, of a stripe in the direction of two or more horizontal scanning line. And 403 is performed for a cel assembler after the light filter formation process 402. A cel assembler assembles a liquid crystal panel (liquid crystal cell) in 403 using the substrate which has the predetermined pattern obtained at the pattern formation process 401, the light filter obtained with the light filter formation process 402. In 403, a cel assembler pours in liquid crystal between the substrate which has the predetermined pattern obtained at the pattern formation process 401, for example, and the light filter obtained with the light filter formation process 402, and manufactures a liquid crystal panel (liquid crystal cell).

[0100] Then, a module assembler attaches each part articles in which the display action of the assembled liquid crystal panel (liquid crystal cell) is made to perform, such as an electrical circuit and a back light, and makes it complete as a liquid crystal display component in 404. According to the manufacture approach of an above-mentioned liquid crystal display component, the liquid crystal display component which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0101] In addition, in an above-mentioned operation gestalt, when using the F2 laser light source which supplies light with an ArF excimer laser which supplies light with a wavelength of 193nm, and a wavelength of 157nm, in order to avoid the optical absorption by oxygen, the optical path from the light source to a photosensitive substrate and the optical path in aberration system of measurement will be filled with inert gas, such as nitrogen and helium. In this case, by touching the polluted air, it is desirable to hold and convey aberration system of measurement to the bag or container filled with inert gas so that cloudiness may not occur in the lens side in aberration system of measurement.

[0102] Moreover, although this invention is applied to the aligner equipped with the excimer laser with the above-mentioned operation gestalt, as shown in drawing 15, this invention can also be applied to the aligner which makes an extra-high pressure mercury lamp the light source, without being limited to this. In this case, in the aligner concerning the modification shown in drawing 15, the extra-high pressure mercury lamp 51 which supplies the light containing the bright line of i line is positioned in the 1st focal location of the ellipse mirror 52 which has an ellipse reflector symmetrical with a revolution about an optical axis AX. Therefore, the illumination-light bundle injected from the light source 51 forms a light source image in the 2nd focal location of the ellipse mirror 52.

[0103] After the divergence flux of light from the light source image formed in the 2nd focal location of the ellipse mirror 52 is deflected by the reflective mirror 53 and is mostly changed into the parallel flux of light by the collimate lens 54, incidence of it is carried out to the fly eye lens 7 which is the optical integrator of a wave-front assembled die through a wavelength selection filter (un-illustrating). The configuration after the following and fly eye lens 7 is the same as that of the operation gestalt of drawing 1. In addition, with a wavelength selection filter, only the light (365nm) of i line is chosen as an exposure light, for example. Or the light of the light of g line (436nm), h line (405nm), and i line can also be chosen simultaneously, for example, the light of g line and the light of h line can also be chosen simultaneously, and the light of h line and the light of i line can also be chosen simultaneously.

[0104] Furthermore, although this invention is applied to the test equipment built into the aligner with the above-mentioned operation gestalt, as shown in drawing 16, this invention is also applicable to the test equipment which has a wafer stage and a similar exclusive stage. In this case, although the test equipment concerning the modification shown in drawing 16 is equipped with the illumination system of the aligner of drawing 1, the illumination system which has the same configuration, the wafer stage of the aligner of drawing 1, and the exclusive stage SS which has a similar configuration, it is not equipped with the FIA system and AF system of an oblique incidence method. It replaced with these alignment systems and the

exclusive stage SS is equipped with the 2nd interferometer IF 2 and the 3rd interferometer IF 3 of a couple for measuring the 1st interferometer IF 1 for measuring the movement magnitude of the direction of Y, and the movement magnitude of the direction of X. In the test equipment concerning the modification shown in drawing 16, the wave aberration of the projection optical system PL and other suitable test optical systems SL which should be carried in an aligner is measured.

[0105] By the way, although the illumination system which has the same configuration as the illumination system of the aligner of drawing 1 is used in the test equipment concerning the modification shown in drawing 16, this invention is also applicable to the test equipment which has the lighting unit of dedication as shown in drawing 17. In this case, in the test equipment concerning the modification shown in drawing 17, after the light from the light source (un-illustrating) spreads by the light guide 61, opening of the test mask TM is illuminated through a condenser lens 62. In addition, the injection edge and condenser lens 62 of a light guide 61 are supported in one by the base material 63.

[0106] Here, the lighting unit (61-63) is constituted so that the test mask TM may be illuminated with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of the projection optical system PL and other suitable test optical systems SL which should be carried in an aligner. In addition, when the lighting area size which a lighting unit (61-63) forms on the test mask TM is not enough, the wave aberration of a projection optical system PL or a test optical system SL will be measured, moving a base material 63 two-dimensional along XY flat surface, and carrying out sequential lighting of two or more openings of the test mask TM.

[0107] Moreover, with the above-mentioned operation gestalt, while using the illumination system of an aligner, a projection optical system PL is operated as lighting relay optical system, the self-calibration of aberration system of measurement is performed, but as shown in drawing 18, a self-calibration can also be performed using the lighting unit of the modification shown in drawing 17, and a similar exclusive lighting unit. That is, in the modification shown in drawing 18, after the light from the light source (un-illustrating) spreads by the light guide 61, opening 11b for proofreading of a container reference plate 11 is illuminated through a condenser lens 62. At this time, the lighting unit (61 62) is constituted so that a container reference plate 11 may be illuminated with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of aberration system of measurement. In this way, the error of aberration system of measurement as well as an above-mentioned operation gestalt can be measured.

[0108] By the way, in the modification shown in drawing 18, although the self-calibration of aberration system of measurement is performed using the lighting unit of dedication, as shown in drawing 19, a self-calibration can also be performed using the illumination system and lighting relay optical system of an operation gestalt of drawing 1. That is, in the modification shown in drawing 19, the light from an illumination system which has the same configuration as the illumination system of the operation gestalt of drawing 1 illuminates opening 11b for proofreading of a container reference plate 11 through the lighting relay optical system 71. At this time, the lighting relay optical system 71 is constituted so that a container reference plate 11 may be illuminated with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of aberration system of measurement. In this way, the error of aberration system of measurement as well as an above-mentioned operation gestalt can be measured.

[0109] Furthermore, although the self-calibration of aberration system of measurement is performed with the above-mentioned operation gestalt by making the image of opening 11b for proofreading formed in the center of a container reference plate 11 form on the light-receiving side of CCD15, as shown in drawing 20, a self-calibration can also be performed based on the spherical wave generated through the minimum pinhole. That is, in the modification shown in drawing 20, the light-receiving side of CCD15 and the tool 81 by which the minimum pinhole was optically formed in the location [ \*\*\*\* ] are positioned.

[0110] Therefore, in the case of the modification shown in drawing 20, between a field [ \*\*\*\* ] and base plane 11a of a container reference plate 11, a predetermined gap (gap) will be optically formed with the light-receiving side of CCD15. If a tool 81 is illuminated in this condition, the spherical wave generated from that minimum pinhole will form many images (condensing point) of the minimum pinhole in the light-receiving side of CCD15 through a collimate lens 12, a relay lens 13, and the micro fly eye 14. In this way, the error of aberration system of measurement as well as an above-mentioned operation gestalt can be measured.



[0111] By the way, as shown in drawing 21 , the modification shown in drawing 20 is also applicable to the aligner of drawing 1 . In this case, on the occasion of the self-calibration of aberration system of measurement, the test mask TM with which the minimum pinhole was formed is installed. If an illumination system (1-9) illuminates the test mask TM in this condition, the spherical wave generated from that minimum pinhole will form many images (condensing point) of the minimum pinhole in the light-receiving side of CCD15 through a projection optical system PL, a collimate lens 12, a relay lens 13, and the micro fly eye 14. In this way, change of the error of the aberration system of measurement resulting from environmental fluctuation etc. can be measured like an above-mentioned operation gestalt.

[0112]

[Effect of the Invention] As explained above, in this invention, the method which illuminates opening positioned in the body side of a test optical system with the numerical aperture more than the body side numerical aperture of a test optical system (incoherent lighting), and carries out wavefront splitting of the light from the primary image of opening formed in the image surface of a test optical system, for example, forms many secondary images of opening on the light-receiving side of a photoelectrical detecting element like CCD is adopted. Consequently, in this invention, highly precise aberration measurement can be performed based on sufficient amount of measuring beams, without using the minimum pinhole for generating a spherical wave.

[0113] Moreover, in this invention, it has the container reference plate attached in the aberration system of measurement for measuring the wave aberration of a test optical system in one, and the location detection system for detecting the location of this container reference plate. Since for example, the alignment mark and the reflector are formed in this container reference plate, the location of aberration system of measurement is promptly detectable to high degree of accuracy using an alignment mark or a reflector. Consequently, in this invention, first stage-positioning and position control of aberration system of measurement can be promptly carried out to high degree of accuracy, as a result quick and exact aberration measurement can be performed.

[0114] Furthermore, in this invention, since opening for proofreading is formed in the above-mentioned container reference plate, many images are formed on the light-receiving side of CCD by illuminating this opening for proofreading. Although each image of opening for proofreading is tidily located in a line and should be formed in the design value, the location gap of the quantity of light center-of-gravity location of each opening image measured actually will be carried out under the effect of the wave aberration of aberration system of measurement etc. from the ideal location assumed on the design. So, in this invention, the location of each opening image obtained by the above-mentioned self-calibration is set as each zero for measurement. Consequently, wave aberration measurement with a high precision can be performed, without errors, such as wave aberration which the aberration system of measurement itself generates by measuring wave aberration based on each set-up zero for measurement, influencing the measurement result of a test optical system substantially.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

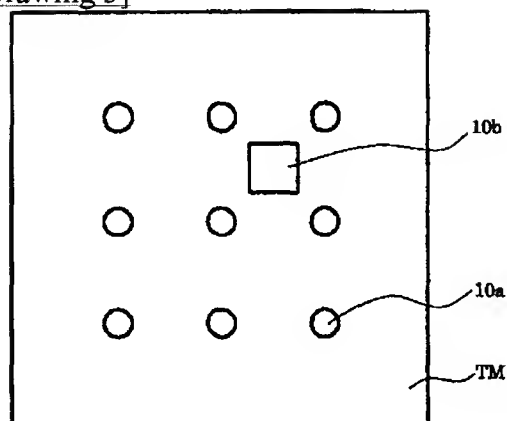
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

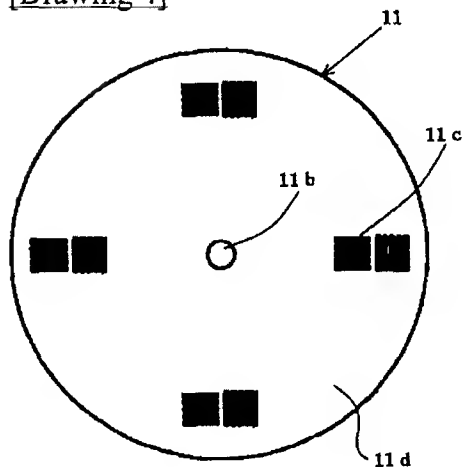
DRAWINGS

---

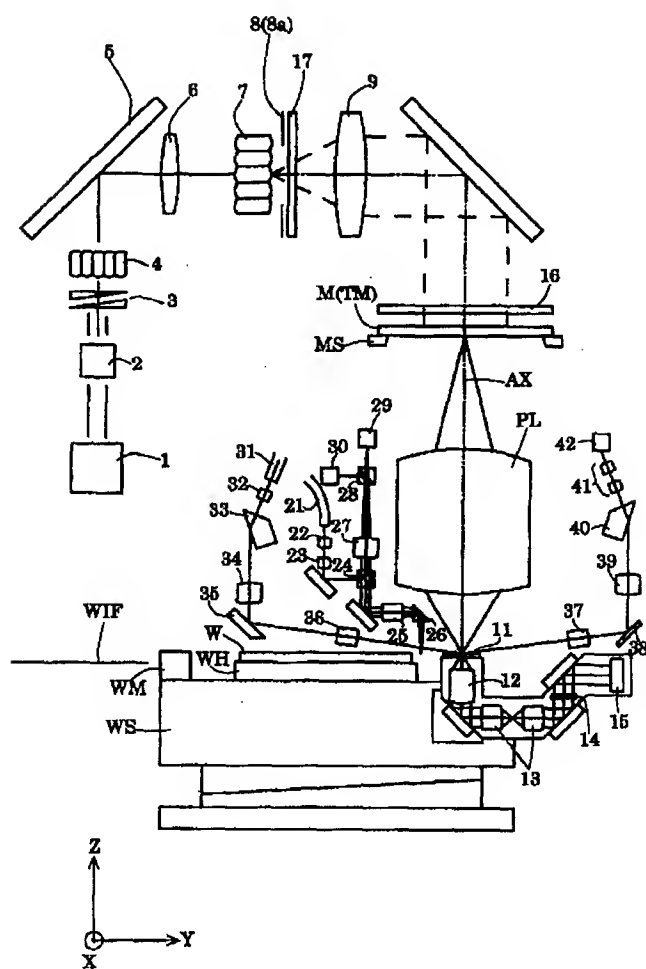
[Drawing 3]



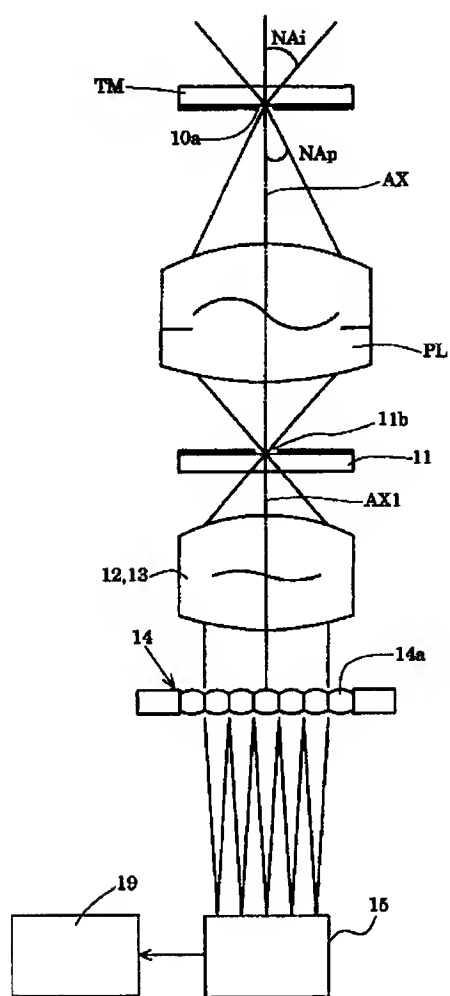
[Drawing 4]



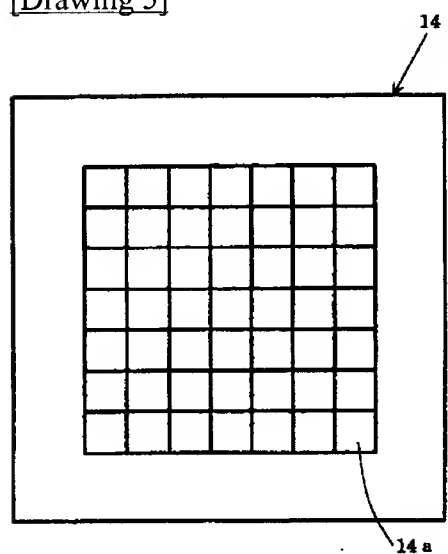
[Drawing 1]



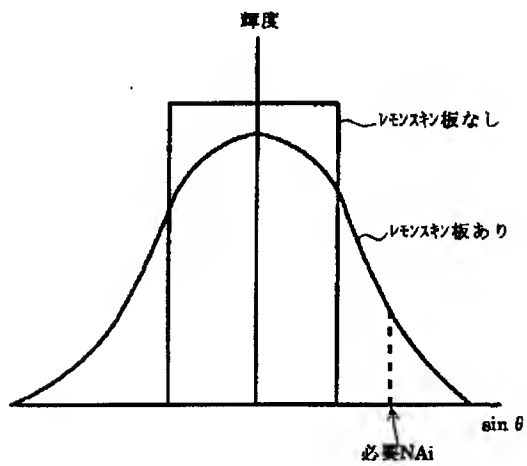
[Drawing 2]



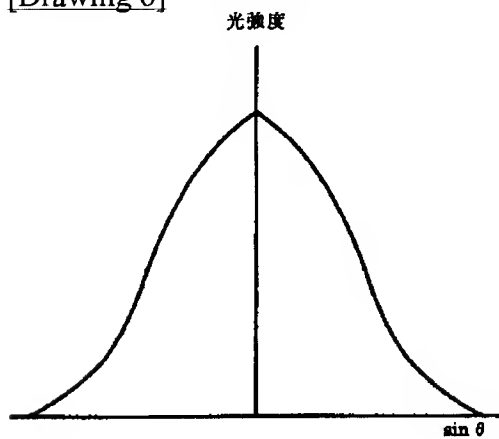
[Drawing 5]



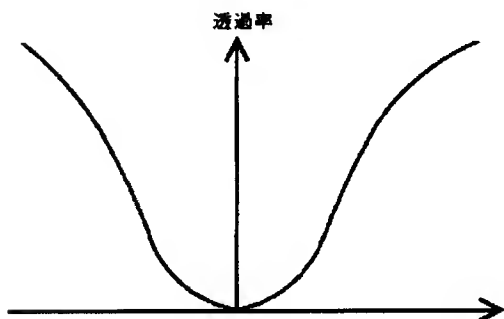
[Drawing 7]



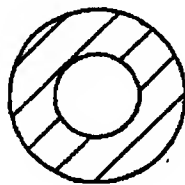
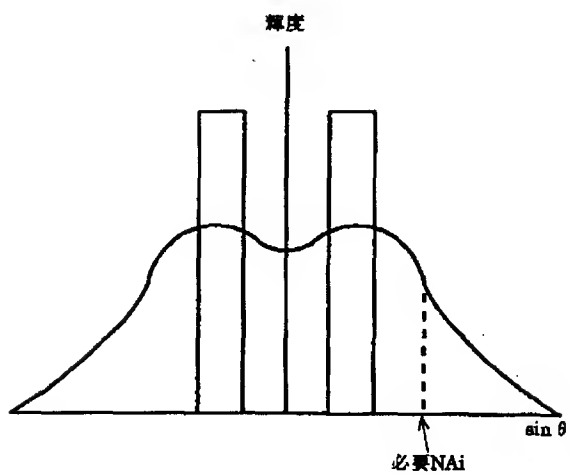
[Drawing 6]



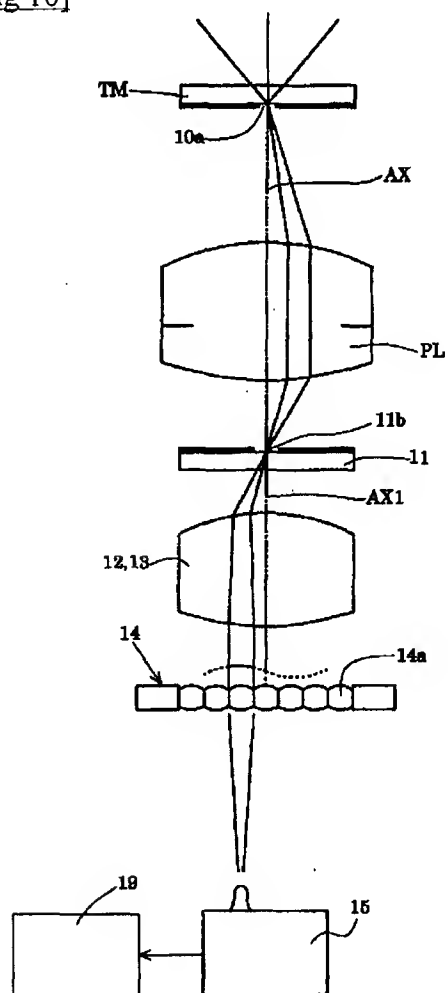
[Drawing 8]



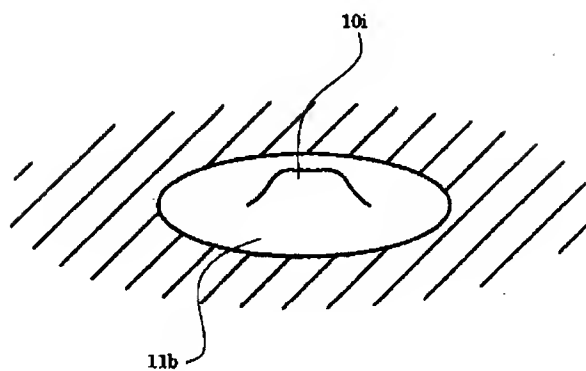
[Drawing 9]



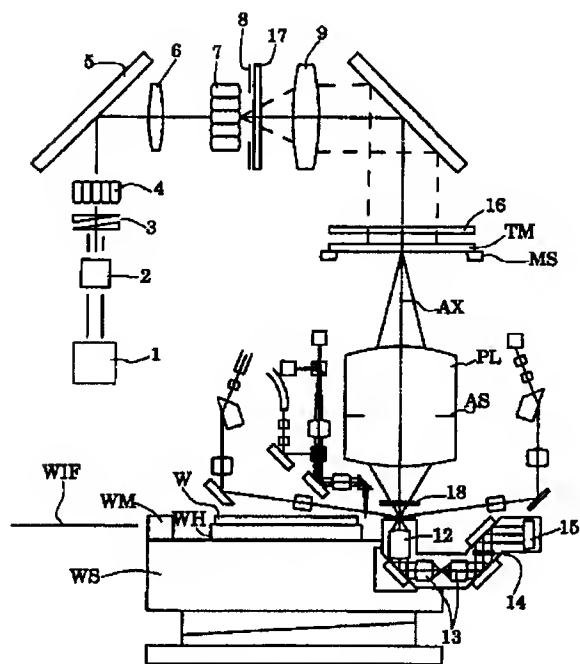
[Drawing 10]



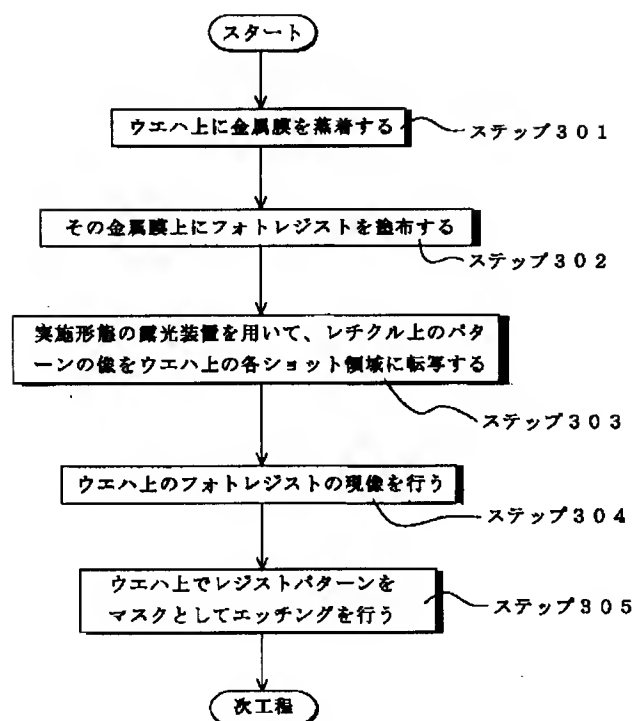
[Drawing 11]



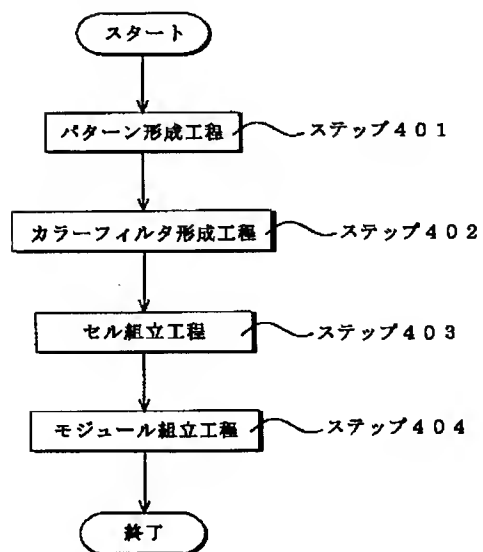
[Drawing 12]



[Drawing 13]

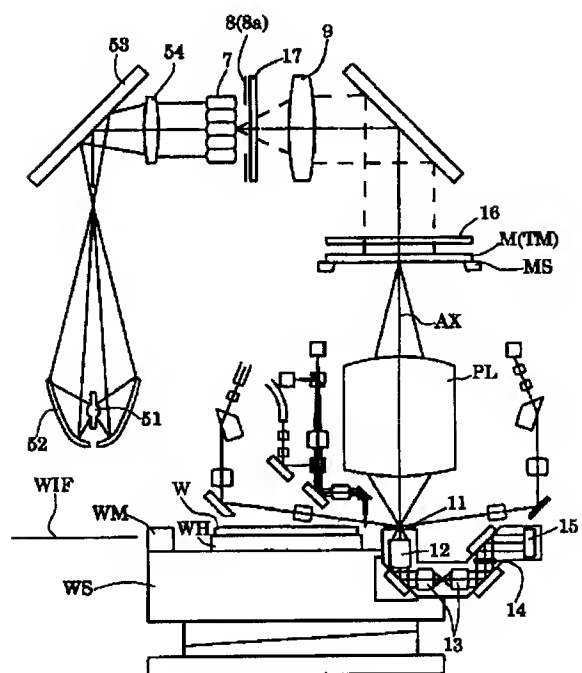


[Drawing 14]

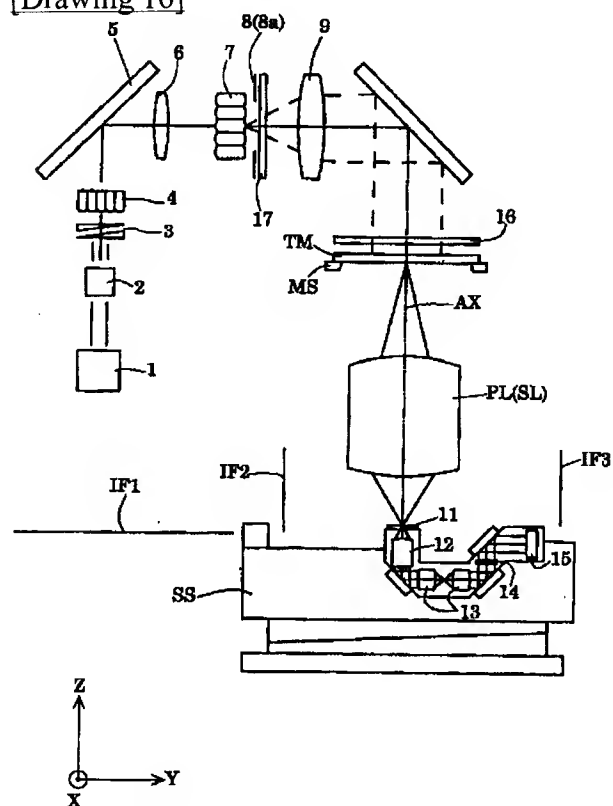


[Drawing 15]

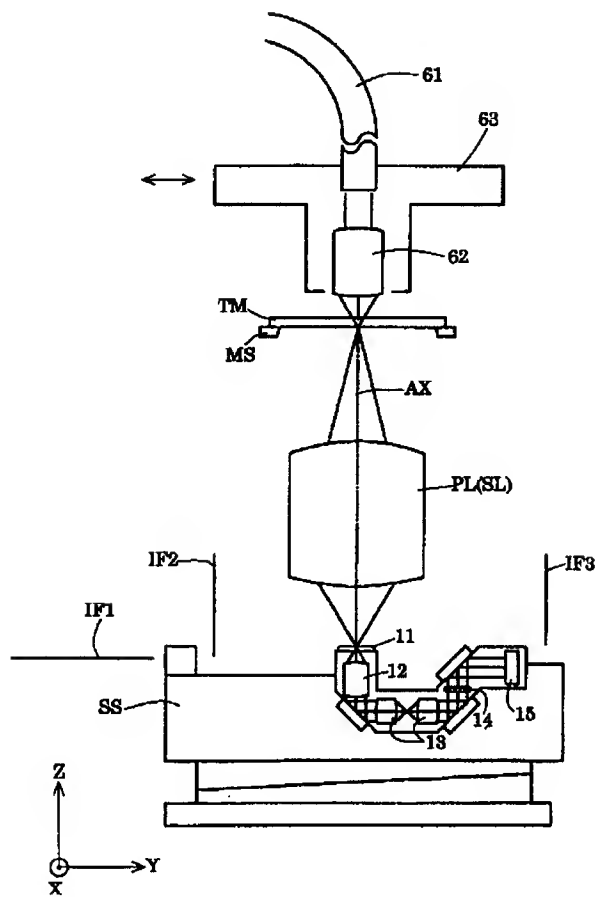




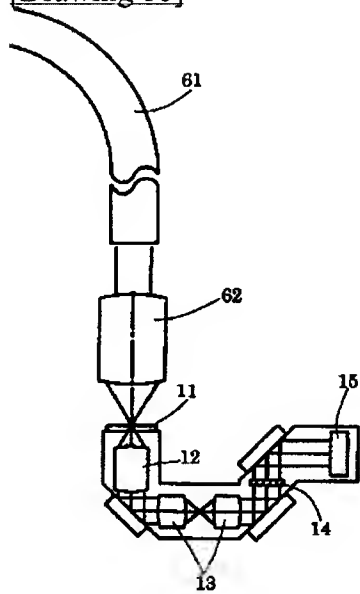
[Drawing 16]



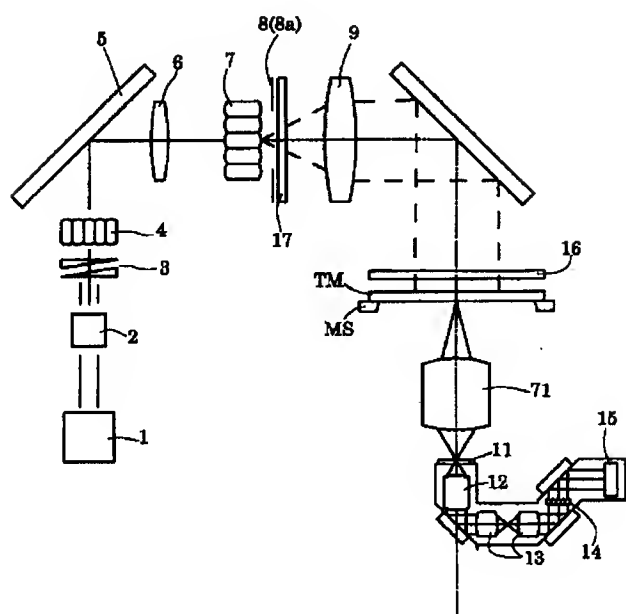
[Drawing 17]



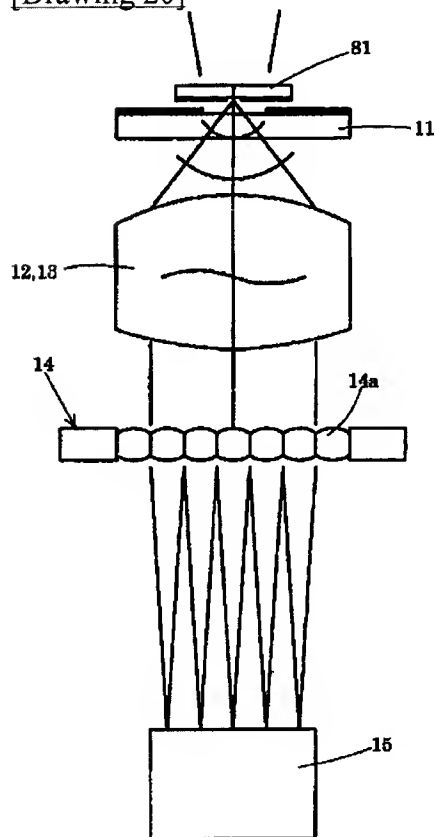
[Drawing 18]



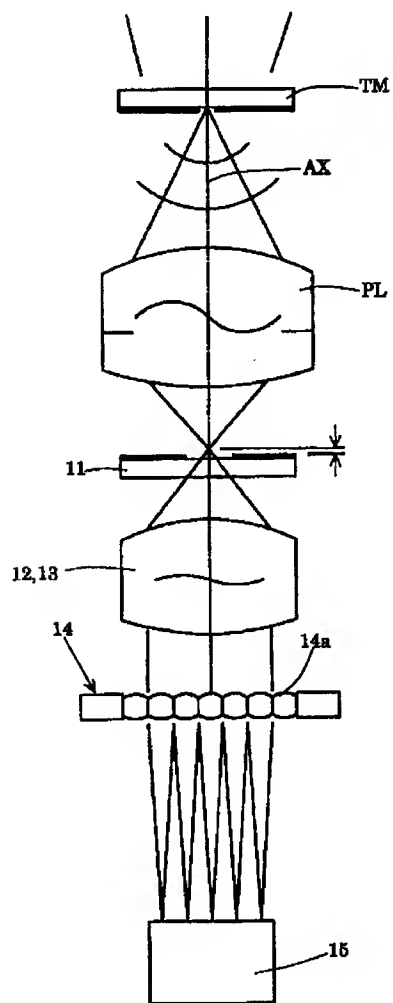
[Drawing 19]



[Drawing 20]



[Drawing 21]



---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-71514

(P2002-71514A)

(43) 公開日 平成14年3月8日(2002.3.8)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト*(参考)
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	B 2 F 0 6 5
G 0 1 B 11/24		G 0 3 F 7/20	5 2 1 2 G 0 8 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 1 B 11/24	F 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027			K
		H 0 1 L 21/30	5 1 6 A
		審査請求 未請求 請求項の数30 O L (全 23 頁)	

(21) 出願番号 特願2000-258085(P2000-258085)

(22) 出願日 平成12年8月28日(2000.8.28)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 長山 匡

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

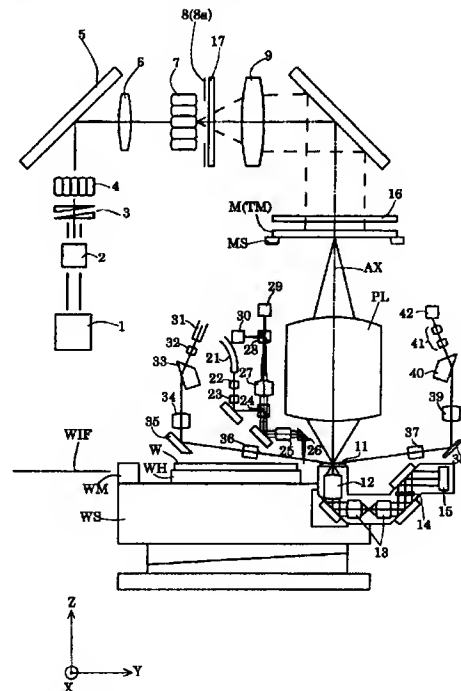
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 検査装置、該検査装置を備えた露光装置、およびマイクロデバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 球面波を発生させるための極小ピンホールを用いることなく、十分な測定光量に基づいて高精度な収差測定を行うことのできる検査装置。

【解決手段】 被検光学系 (P L) の波面収差を測定するための検査装置である。被検光学系 (P L) の物体側開口数以上の開口数で被検光学系の物体面に位置決めされた開口部 (T M) を照明するための照明ユニット (1 ~ 9, 16) と、被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子 (14) と、波面分割素子により形成された多数の二次像を光電検出するための光電検出部 (15) とを備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記被検光学系の物体側開口数以上の開口数で前記被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明するための照明ユニットと、前記被検光学系の像面に形成された前記開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、前記波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項 2】 前記照明ユニットは、前記開口部に対して照明光を供給するための照明系と、該照明系からの光束の開口数を拡大するための開口数拡大手段とを有することを特徴とする請求項 1 に記載の検査装置。

【請求項 3】 前記開口数拡大手段は、前記照明系と前記被検光学系の物体面との間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するための拡散光学部材を有することを特徴とする請求項 2 に記載の検査装置。

【請求項 4】 前記開口数拡大手段は、前記拡散光学部材により悪化する照明光束の輝度特性を均一化するための輝度特性均一化手段を有することを特徴とする請求項 3 に記載の検査装置。

【請求項 5】 照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、

請求項 2 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、

前記検査装置中の前記照明系は前記マスクを照明することが可能であり、

前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置。

【請求項 6】 被検光学系の波面収差を測定するための収差測定系と、前記収差測定系に一体的に取り付けられた標示板と、前記標示板の位置を検出するための位置検出系とを備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項 7】 前記位置検出系は、前記被検光学系の光軸に垂直な面に沿った前記収差測定系の位置を検出するための第 1 検出系と、前記被検光学系の光軸方向に沿った前記収差測定系の位置を検出するための第 2 検出系とを有することを特徴とする請求項 6 に記載の検査装置。

【請求項 8】 前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、該基準平面上にはアライメントマークおよび反射面が形成され、前記第 1 検出系は、前記アライメントマークに基づいて前記基準平面に沿った前記収差測定系の位置を検出し、前記第 2 検出系は、前記反射面へ斜め方向から光束を照射させ前記反射面で反射された光束に基づいて前記基準

平面の法線方向に沿った前記収差測定系の位置を検出することを特徴とする請求項 7 に記載の検査装置。

【請求項 9】 前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、該基準平面上にはアライメントマークおよび反射面のうちの一方が形成されていることを特徴とする請求項 6 に記載の検査装置。

【請求項 10】 前記被検光学系の物体側開口数以上の開口数で前記被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明するための照明ユニットをさらに備え、前記収差測定系は、前記被検光学系の像面に形成された前記開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを有することを特徴とする請求項 6 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の検査装置。

【請求項 11】 前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、前記収差測定系は、前記被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを有し、

前記基準平面は前記光電検出部の検出面と光学的にほぼ共役な位置に配置され、前記基準平面上には前記収差測定系の誤差を測定して前記収差測定系を校正するための校正用開口部が形成されていることを特徴とする請求項 6 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の検査装置。

【請求項 12】 前記校正用開口部は、前記基準平面上に形成される前記開口部の一次像よりも実質的に大きく設定されていることを特徴とする請求項 11 に記載の検査装置。

【請求項 13】 照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、

請求項 6 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、

前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置。

【請求項 14】 照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定するための請求項 7 または 8 に記載の検査装置を備え、前記第 2 検出系は、前記投影光学系の光軸方向に沿った前記感光性基板の位置を検出することを特徴とする露光装置。

【請求項 15】 照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定

するための請求項 10 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、

前記検査装置中の前記照明ユニットは前記マスクを照明することが可能であることを特徴とする露光装置。

【請求項 16】 収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記収差測定系の誤差を測定するための誤差測定手段を備え、前記誤差測定手段で測定した誤差情報に基づいて、前記被検光学系に関する前記収差測定系の出力を補正すること  
10 を特徴とする検査装置。

【請求項 17】 前記収差測定系は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の像を光電検出するための光電検出部とを有し、前記誤差測定手段は、前記所定面の近傍に形成された校正用開口部を有し、前記被検光学系を介した光により前記校正用開口部を照明し、前記波面分割素子により形成された前記校正用開口部の多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定することを特徴とする請求項 16 に  
20 記載の検査装置。

【請求項 18】 収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記収差測定系の誤差を記憶するためのユニットを備え、前記ユニットからの誤差情報に基づいて、前記被検光学系に関する前記収差測定系の出力を補正すること  
25 を特徴とする検査装置。

【請求項 19】 マスクを照明するための照明系と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための  
30 投影光学系を備えた露光装置において、請求項 16 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置。

【請求項 20】 前記検査装置による測定結果に基づいて、前記投影光学系の光学特性を調整することを特徴とする請求項 5、13～15、および 19 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 21】 請求項 5、13～15、19 および 20 のいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【請求項 22】 収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定する検査方法において、前記収差測定系の誤差を測定する誤差測定工程と、前記収差測定系を用いて前記被検光学系の波面収差を測定する収差測定工程と、  
50

前記誤差測定工程で測定した誤差情報に基づいて、前記収差測定工程で得られた前記被検光学系の収差測定値を補正する補正工程とを含むことを特徴とする検査方法。

【請求項 23】 前記誤差測定工程では、所定の環境における前記収差測定系の誤差を測定し、該測定誤差に基づいて前記環境の変動に起因する誤差の変化を予測することを特徴とする請求項 22 に記載の検査方法。

【請求項 24】 前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、  
前記誤差測定工程は、前記所定面に開口部を位置決めして照明する補助工程と、前記開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことを特徴とする請求項 22 または 23 に記載の検査方法。

【請求項 25】 前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、  
前記誤差測定工程は、前記所定面またはその近傍にピンホールを位置決めして照明することにより球面波を発生させる補助工程と、該球面波を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことを特徴とする請求項 22 または 23 に記載の検査方法。

【請求項 26】 前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、  
前記誤差測定工程は、前記所定面近傍に位置決めされた校正用開口部を照明する補助工程と、該校正用開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことを特徴とする請求項 22 または 23 に記載の検査方法。

【請求項 27】 投影光学系を介してマスクのパターン像を感光性基板上に投影露光する露光方法において、前記投影光学系を前記被検光学系として、前記投影光学系の波面収差を請求項 22 乃至 26 のいずれか 1 項に記載の検査方法により測定し、前記補正工程により補正された前記投影光学系の波面収差に基づいて、前記投影光学系を調整する調整工程を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 28】 前記誤差測定工程では、所定の気圧および所定の波長のうちの少なくとも一方における誤差を測定し、測定した誤差に基づいて気圧および波長のうちの少なくとも一方の変動に起因する誤差の変化を予測す

ることを特徴とする請求項 27 に記載の露光方法。

【請求項 29】 前記誤差測定工程では、複数の温度条件において誤差を測定し、測定した複数の誤差に基づいて温度の変動に起因する誤差の変化を予測することを特徴とする請求項 27 または 28 に記載の露光方法。

【請求項 30】 請求項 27 乃至 29 のいずれか 1 項に記載の露光方法を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、検査装置、該検査装置を備えた露光装置、およびマイクロデバイスの製造方法に関する。本発明は、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に搭載された投影光学系の波面収差の測定に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、マスクのパターン像を感光性基板（ウェハ、ガラス基板、プレートなど）に投影露光する露光装置が使用されている。この種の露光装置では、マスクパターン像を感光性基板に高い解像力をもって忠実に投影するために、諸収差が十分に抑制された良好な光学性能を有する投影光学系が設計されている。

【0003】ところが、実際に製造された露光装置の投影光学系では、設計上の光学性能とは異なり、様々な要因に起因する諸収差が残存している。そこで、従来、露光装置に搭載された投影光学系のような被検光学系に残存する収差を測定するための種々の装置が提案されている。たとえば、国際公開 WO99/60361 号公報には、極小ピンホールを用いて発生させた球面波に基づいて被検光学系の波面収差を測定する収差測定装置が開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の公報に開示された従来の収差測定装置では、装置自体が発生する波面収差などの誤差が被検光学系の収差測定結果に影響する（上乗せされる）という不都合があった。また、従来の収差測定装置では、装置の初期的な位置設定および位置制御が困難であるという不都合があった。さらに、従来の収差測定装置では、球面波を発生させるために極小径のピンホールを用いるので、測定光量が著しく不足するという不都合があった。

【0005】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、装置自体が発生する波面収差などの誤差が被検光学系の収差測定結果に実質的に影響することのない、測定精度の高い検査装置および該検査装置を備えた

露光装置を提供することを目的とする。

【0006】また、本発明は、収差測定系の初期的な位置設定および位置制御を迅速に且つ高精度に行うことができ、ひいては迅速で且つ正確な収差測定を行うことのできる、検査装置および該検査装置を備えた露光装置を提供することを目的とする。

【0007】さらに、本発明は、球面波を発生させるための極小ピンホールを用いることなく、十分な測定光量に基づいて高精度な収差測定を行うことのできる、検査装置および該検査装置を備えた露光装置を提供することを目的とする。

【0008】また、本発明は、高精度な収差測定に基づいて良好に調整された投影光学系を用いて、高い解像力で良好なマイクロデバイスを製造することのできる、マイクロデバイスの製造方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第 1 発明では、被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記被検光学系の物体側開口数以上の開口数で前記被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明するための照明ユニットと、前記被検光学系の像面に形成された前記開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、前記波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0010】第 1 発明の第 1 態様によれば、前記照明ユニットは、前記開口部に対して照明光を供給するための照明系と、該照明系からの光束の開口数を拡大するための開口数拡大手段とを有することが好ましい。また、第 1 発明の第 2 態様によれば、前記開口数拡大手段は、前記照明系と前記被検光学系の物体面との間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するための拡散光学部材を有することが好ましい。さらに、第 1 発明の第 3 態様によれば、前記開口数拡大手段は、前記拡散光学部材により悪化する照明光束の輝度特性を均一化するための輝度特性均一化手段を有することが好ましい。

【0011】また、第 1 発明の第 4 態様によれば、前記輝度特性均一化手段は、前記照明系の照明光路中に挿脱自在に配置されて所定の光強度分布の光束を形成するための濃度フィルタを有することが好ましい。さらに、第 1 発明の第 5 態様によれば、前記輝度特性均一化手段は、前記照明系の光路中において前記投影光学系の瞳と光学的にほぼ共役な位置に輪帯状の面光源を形成するための面光源形成手段を有することが好ましい。また、第 1 発明の第 6 態様によれば、前記波面分割素子は、二次元的に配列された多数の微小レンズを有することが好ましい。



【0012】本発明の第2発明では、照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、第1発明の第2態様～第6態様の検査装置を備え、前記検査装置中の前記照明系は前記マスクを照明することが可能であり、前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置を提供する。

【0013】本発明の第3発明では、被検光学系の波面収差を測定するための収差測定系と、前記収差測定系に一体的に取り付けられた標示板と、前記標示板の位置を検出するための位置検出系とを備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0014】第3発明の第1態様によれば、前記位置検出系は、前記被検光学系の光軸に垂直な面に沿った前記収差測定系の位置を検出するための第1検出系と、前記被検光学系の光軸方向に沿った前記収差測定系の位置を検出するための第2検出系とを有することが好ましい。また、第3発明の第2態様によれば、前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、該基準平面上にはアライメントマークおよび反射面が形成され、前記第1検出系は、前記アライメントマークに基づいて前記基準平面に沿った前記収差測定系の位置を検出し、前記第2検出系は、前記反射面へ斜め方向から光束を入射させ前記反射面で反射された光束に基づいて前記基準平面の法線方向に沿った前記収差測定系の位置を検出することが好ましい。

【0015】さらに、第3発明の第3態様によれば、前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、該基準平面上にはアライメントマークおよび反射面のうちの一方が形成されていることが好ましい。また、第3発明の第4態様によれば、前記被検光学系の物体側開口数以上の開口数で前記被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明するための照明ユニットをさらに備え、前記収差測定系は、前記被検光学系の像面に形成された前記開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを有することが好ましい。

【0016】さらに、第3発明の第5態様によれば、前記標示板は、前記収差測定系の光軸に垂直な基準平面を有し、前記収差測定系は、前記被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して前記開口部の二次像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の二次像を光電検出するための光電検出部とを有し、前記基準平面は前記光電検出部の検出面と光学的にほぼ共役な位置に配置され、前記基準平面上には前記収差測定系の誤差を測定して前記収差測定系を校正するための校正用開口部が形成されていることが好ましい。また、第3発明の第6態様

によれば、前記校正用開口部は、前記基準平面上に形成される前記開口部の一次像よりも実質的に大きく設定されていることが好ましい。

【0017】本発明の第4発明では、照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、第3発明の検査装置を備え、前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置を提供する。

【0018】本発明の第5発明では、照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定するための第4発明の第1態様または第2態様の検査装置を備え、前記第2検出系は、前記投影光学系の光軸方向に沿った前記感光性基板の位置を検出することを特徴とする露光装置を提供する。

【0019】本発明の第6発明では、照明されたマスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定するための第3発明の第4態様～第6態様の検査装置を備え、前記検査装置中の前記照明ユニットは前記マスクを照明することが可能であることを特徴とする露光装置を提供する。

【0020】第4発明および第6発明の第1態様によれば、前記照明ユニットは、前記開口部に対して照明光を供給するための照明系と、該照明系からの光束の開口数を拡大するための開口数拡大手段とを有することが好ましい。また、第4発明および第6発明の第2態様によれば、前記開口数拡大手段は、前記照明系と前記被検光学系の物体面との間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するための拡散光学部材を有することが好ましい。さらに、第4発明および第6発明の第3態様によれば、前記開口数拡大手段は、前記拡散光学部材により悪化する照明光束の輝度特性を均一化するための輝度特性均一化手段を有することが好ましい。

【0021】また、第4発明および第6発明の第4態様によれば、前記輝度特性均一化手段は、前記照明系の照明光路中に挿脱自在に配置されて所定の光強度分布の光束を形成するための濃度フィルタを有することが好ましい。さらに、第4発明および第6発明の第5態様によれば、前記輝度特性均一化手段は、前記照明系の光路中において前記投影光学系の瞳と光学的にほぼ共役な位置に輪帯状の面光源を形成するための面光源形成手段を有することが好ましい。

【0022】本発明の第7発明では、収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記収差測定系の誤差を測定するための誤差測定手段を備え、前記誤差測定手段で測定した誤差情報に基づいて、前記被検光学系に関する前記収差測定系の出力

を補正することを特徴とする検査装置を提供する。

【0023】第7発明の第1態様によれば、前記収差測定系は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成するための波面分割素子と、該波面分割素子により形成された前記多数の像を光電検出するための光電検出部とを有し、前記誤差測定手段は、前記所定面の近傍に形成された校正用開口部を有し、前記被検光学系を介した光により前記校正用開口部を照明し、前記波面分割素子により形成された前記校正用開口部の多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定することが好ましい。

【0024】本発明の第8発明では、収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定するための検査装置において、前記収差測定系の誤差を記憶するためのユニットを備え、前記ユニットからの誤差情報に基づいて、前記被検光学系に関する前記収差測定系の出力を補正することを特徴とする検査装置を提供する。

【0025】本発明の第9発明では、マスクを照明するための照明系と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系を備えた露光装置において、第7発明または第8発明の検査装置を備え、前記検査装置により前記投影光学系を前記被検光学系として波面収差を測定することを特徴とする露光装置を提供する。

【0026】第2発明、第4発明～第6発明、および第9発明において、前記検査装置による測定結果に基づいて、前記投影光学系の光学特性を調整することが好ましい。

【0027】本発明の第10発明では、第2発明、第4発明～第6発明、および第9発明の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【0028】本発明の第11発明では、収差測定系を用いて被検光学系の波面収差を測定する検査方法において、前記収差測定系の誤差を測定する誤差測定工程と、前記収差測定系を用いて前記被検光学系の波面収差を測定する収差測定工程と、前記誤差測定工程で測定した誤差情報に基づいて、前記収差測定工程で得られた前記被検光学系の収差測定値を補正する補正工程とを含むことを特徴とする検査方法を提供する。

【0029】第11発明の第1態様によれば、前記誤差測定工程では、所定の環境における前記収差測定系の誤差を測定し、該測定誤差に基づいて前記環境の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。また、第11発明の第2態様によれば、前記誤差測定工程では、所定の気圧および所定の波長における誤差を測定し、測定した誤差に基づいて気圧の変動および波長の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。さらに、

第11発明の第3態様によれば、前記誤差測定工程では、複数の温度条件において誤差を測定し、測定した複数の誤差に基づいて温度の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。

【0030】また、第11発明の第4態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面に開口部を位置決めして照明する補助工程と、前記開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0031】さらに、第11発明の第5態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面またはその近傍にピンホールを位置決めして照明することにより球面波を発生させる補助工程と、該球面波を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0032】また、第11発明の第6態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面近傍に位置決めされた校正用開口部を照明する補助工程と、該校正用開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0033】本発明の第12発明では、投影光学系を介してマスクのパターン像を感光性基板上に投影露光する露光方法において、前記投影光学系を前記被検光学系として、前記投影光学系の波面収差を第11発明の検査方法により測定し、前記補正工程により補正された前記投影光学系の波面収差に基づいて、前記投影光学系を調整する調整工程を含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0034】第12発明の第1態様によれば、前記誤差測定工程では、所定の気圧および所定の波長のうちの少なくとも一方における誤差を測定し、測定した誤差に基づいて気圧および波長のうちの少なくとも一方の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。また、第12発明の第2態様によれば、前記誤差測定工程では、複数の温度条件において誤差を測定し、測定した複数の誤差に基づいて温度の変動に起因する誤差の変化を予測することが好ましい。

【0035】さらに、第12発明の第3態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面に開口部を位置決めして照明する補助工程と、前記開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0036】また、第12発明の第4態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面またはその近傍にピンホールを位置決めして照明することにより球面波を発生させる補助工程と、該球面波を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0037】さらに、第12発明の第5態様によれば、前記収差測定工程は、所定面からの光を波面分割して前記所定面の像を多数形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像を光電検出する補助工程とを含み、前記誤差測定工程は、前記所定面近傍に位置決めされた校正用開口部を照明する補助工程と、該校正用開口部からの光を波面分割して多数の像を形成する補助工程と、波面分割により形成された前記多数の像に基づいて前記収差測定系の誤差を測定する補助工程とを含むことが好ましい。

【0038】また、第12発明の第6態様によれば、前記誤差測定工程では、前記投影光学系を介した光束の開口数を拡大して、前記収差測定系の物体側開口数以上の開口数で前記校正用開口部を照明することが好ましい。

【0039】本発明の第13発明では、第12発明の露光方法を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【0040】

【発明の実施の形態】本発明では、被検光学系の物体側開口数以上の開口数で被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明（インコヒーレント照明）し、被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して、たとえばCCDのような光電検出部の受光面上に開口部の二次像を多数形成する方式を採用している。すなわち、本発明では、CCDにおいて解像可能な大きさの開口部を結像させる方式であるため、この開口部を従来のように極小ピンホールとして形成して球面波を発生させる必要はない。

【0041】すなわち、従来技術では正確な球面波を

生させるために真円度の高い極小のピンホールを形成する必要があるが、本発明では開口部の形状は円形状に限定されることがなく、その形成精度もあまり厳密ではない。その結果、撮像素子であるCCDに対して、極小ピンホールを用いる従来技術の場合に比して著しく大きな照度を提供することが可能となる。換言すると、本発明では、球面波を発生させるための極小ピンホールを用いることなく、充分な測定光量に基づいて高精度な収差測定を行うことができる。

【0042】また、本発明では、被検光学系の波面収差を測定するための収差測定系に一体的に取り付けられた標示板と、この標示板の位置を検出するための位置検出系とを備えている。この標示板には、たとえばアライメントマークおよび反射面が形成されている。したがって、たとえば露光装置に本発明を適用する場合、露光装置に搭載されたFIA系（詳細は後述）を用いて、アライメントマークに基づいて、投影光学系の光軸に垂直な面に沿った標示板の位置を、ひいては収差測定系のXY平面に沿った位置を検出することができる。

【0043】また、露光装置に搭載された斜入射式の二次元AF系（詳細は後述）を用いて、反射面へ斜め方向から光束を入射させ反射面で反射された光束に基づいて、投影光学系の光軸方向に沿った標示板の面位置を、ひいては収差測定系のZ方向位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾きを検出することができる。こうして、露光装置におけるウェハと同じ程度に高精度なアライメント（位置合わせ）および位置制御を迅速に行うことができる。すなわち、本発明では、収差測定系の初期的な位置設定および位置制御を迅速に且つ高精度に行うことができ、ひいては迅速で且つ正確な収差測定を行うことができる。なお、後述する本実施形態では、収差測定系のXY平面に沿った位置を検出するために、露光装置に搭載されたFIA系を用いているが、この位置検出系としてはFIA系には限られない。例えば、米国特許第4,710,026号公報や米国特許第5,151,750号公報、米国特許第5,859,707号公報に開示されているLIA系、米国特許第4,677,301号公報や米国特許第5,151,750号公報に開示されているLSA系、または測長干渉計などを用いることができる。ここで、測長干渉計を用いて標示板のXY平面の位置を検出するときには、標示板の端面に測長干渉計からの測長ビームを反射させるための反射面を設ける構成、標示板に測長干渉計からの測長ビームを反射させるための反射鏡を取り付ける構成、あるいは標示板が取り付けられている筐体に測長干渉計からの測長ビームを反射させるための反射鏡を取り付ける構成とすることが好ましい。また、後述する本実施形態では、収差測定系のZ方向の位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾きを検出するために、露光装置に搭載された二次元AF系を用いているが、この位置検出系としては二次元A

F系には限られない。例えば、測長干渉計やエアマイク  
ロ、静電容量センサを用いたり、米国特許第5,72  
1,605号公報や米国特許第5,783,833号公  
報に開示されているようなFIA系内のオートフォーカ  
ス機能を用いたりすることができる。また、上述のよう  
に測長干渉計を用いて標示板のXY平面の位置を検出す  
るときには、例えば特開2000-39305号公報また  
は特開2000-49066号公報に開示されている  
ように上記反射面、上記反射鏡にXY平面に対して傾斜  
した反射面を設ければ、標示板、ひいては収差測定系の  
Z方向の位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾き  
を検出することが可能となる。

【0044】さらに、本発明では、上述の標示板に校正  
用の開口部が形成されている。したがって、この校正用  
開口部を照明することにより、校正用開口部からの光が  
CCDの受光面上に多数の像を形成する。設計値では、  
校正用開口部の各像が整然と並んで形成されるはずであ  
るが、収差測定系の波面収差などの影響により、実際に  
測定される各開口部像の光量重心位置は設計上仮定した  
理想位置から位置ずれしてしまう。

【0045】ここで、発生した各開口部像の位置ずれ  
は、収差測定系にのみ起因するものである。そこで、本  
発明では、上述の自己キャリブレーションで得られた各  
開口部像の位置を測定用の各原点に設定する。その結  
果、設定した測定用の各原点に基づいて波面収差の測定  
を行うことにより、収差測定系自体が発生する波面収差  
などの誤差が被検光学系の測定結果に実質的に影響する  
ことなく、精度の高い波面収差測定を行うことができ  
る。

【0046】本発明の実施形態を、添付図面に基いて  
説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる検査装置  
を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1  
において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿っ  
てZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向  
にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向  
にX軸をそれぞれ設定している。なお、図1では、投影  
光学系PLの像面に検査装置の標示板を位置決めした収  
差測定時の状態を示しているが、FIA系や斜入射方式  
のオートフォーカス系を用いた位置検出時および投影露  
光時には、投影光学系PLの像面にウェハWが位置決め  
される。

【0047】図1の露光装置は、露光光（照明光）を供  
給するための光源1として、たとえば248nm（KrF）または193nm（ArF）の波長の光を供給する  
エキシマレーザー光源を備えている。光源1から射出さ  
れたほぼ平行光束は、ビーム整形光学系2を介して所定  
断面の光束に整形された後、干渉性低減部3に入射す  
る。干渉性低減部3は、被照射面であるマスクM上（ひ  
いてはウェハW上）での干渉パターンの発生を低減する  
機能を有する。干渉性低減部3の詳細については、たと

えば特開昭59-226317号公報に開示されてい  
る。

【0048】干渉性低減部3からの光束は、第1フライ  
アイレンズ4を介して、その後側焦点面に多数の光源を  
形成する。これらの多数の光源からの光は、振動ミラー  
5で偏向された後、リレー光学系6を介して第2フライ  
アイレンズ6を重畳的に照明する。ここで、振動ミラー  
5は、X軸周りに回転する折り曲げミラーであって、被  
照射面での干渉パターンの発生を低減する機能を有す  
る。こうして、第2フライアイレンズ7の後側焦点面には、  
多数の光源からなる二次光源が形成される。この二  
次光源からの光束は、その近傍に配置された開口絞り8  
により制限された後、コンデンサー光学系9を介して、  
下側面に所定のパターンが形成されたマスクMを重畳的  
に均一照明する。

【0049】マスクMのパターンを透過した光束は、投  
影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上に  
マスクパターンの像を形成する。マスクMは、マスクホ  
ルダ（不図示）を介して、マスクステージMSに載置さ  
れている。なお、マスクステージMSは、主制御系（不  
図示）からの指令に基づき、マスクステージ制御部（不  
図示）によって駆動される。このとき、マスクステージ  
MSの移動は、マスク干渉計（不図示）とマスクステー  
ジMSに設けられた移動鏡（不図示）とにより計測され  
る。

【0050】一方、ウェハWは、ウェハステージWS上  
のウェハホルダWHに真空チャックされている。ウェハ  
ステージWSは、主制御系（不図示）からの指令に基づ  
き、ウェハステージ制御部（不図示）によって駆動され  
る。このとき、ウェハステージWSの移動は、ウェハ干  
渉計WIFとウェハステージWSに設けられた移動鏡WM  
とにより計測される。こうして、ウェハステージWS  
は、X方向の移動機能、Y方向の移動機能、Z方向の移  
動機能、Z軸周りの回転機能、X軸周りのチルト機能、  
およびY軸周りのチルト機能を有し、ウェハ干渉計WIF  
とウェハステージ制御部とによりナノオーダーで位置制  
御される。

【0051】また、図1の露光装置は、投影光学系の光  
軸AXに垂直な平面すなわちXY平面に沿ったウェハW  
の位置を検出するための第1位置検出系として、オフア  
クシス方式のFIA（Field Image Alignment）系を備  
えている。このFIA系は、波長帯域幅の広い照明光を  
供給するための光源として、たとえばハロゲンランプ  
（不図示）を備えている。光源からの照明光は、リレー  
光学系（不図示）を介して、ライトガイド21に入射す  
る。ライトガイド21の内部を伝播した光は、コンデン  
サーレンズ22およびリレーレンズ23を介して、ハー  
フプリズム24に入射する。

【0052】ハーフプリズム24で反射された照明光  
は、第1対物レンズ25および反射プリズム26を介し

てウェハW上に形成された各アライメントマーク（たとえばX方向のラインアンドスペースパターンおよびY方向のラインアンドスペースパターン）を落射照明する。照明された各アライメントマークからの反射光は、反射プリズム26および第1対物レンズ25を介して、ハーフプリズム24に入射する。ハーフプリズム24を透過した光は、第2対物レンズ27を介して、ハーフプリズム28に入射する。ハーフプリズム28を透過した光はX方向CCD29に達し、ハーフプリズム28で反射された光はY方向CCD30に達する。

【0053】ここで、X方向CCD29の撮像面にはX方向アライメントマークの拡大像が形成され、Y方向CCD30の撮像面にはY方向アライメントマークの拡大像が形成される。こうして、X方向CCD29およびY方向CCD30で得られた撮像信号を画像処理することによって、各アライメントマークのXY平面に沿った位置を、ひいてはウェハWのXY平面に沿った位置を検出する。そして、検出した各アライメントマークの位置情報に基づいて、ウェハWのXY平面に沿ったアライメントを行うことができる。なお、FIA系の詳細については、たとえば特開平4-65603号公報や特開平4-273246号公報などに開示されている。

【0054】さらに、図1の露光装置は、投影光学系の光軸AXの方向すなわちZ方向に沿ったウェハWの位置を検出するための第2位置検出系として、いわゆる斜入射方式の二次元オートフォーカス系（AF系）を備えている。この斜入射方式の二次元AF系は、検出光として波長幅の広い白色光を供給するための光源として、たとえばハロゲンランプ（不図示）を備えている。光源からの照明光はリレー光学系（不図示）を介して、ライトガイド31に入射する。ライトガイド31の内部を伝搬した光は、コンデンサーレンズ32を介してほぼ平行光束に変換された後、偏向プリズム33に入射する。偏向プリズム33は、コンデンサーレンズ32からのほぼ平行光束を、屈折作用により偏向させる。また、偏向プリズム33の射出側には、X方向に伸びる細長い透過部とX方向に伸びる細長い遮光部とが一定のピッチで交互に設けられた透過型格子パターンが形成されている。

【0055】偏向プリズム33の透過型格子パターンを透過した光は、投影光学系PLの光軸AXに平行な光軸に沿って配置された投射用集光レンズ34に入射する。投射用集光レンズ34を介した光束は、ミラー35および投射用対物レンズ36を介して、所要の入射角でウェハWに達する。こうして、ウェハW上には、二次元スリット投影パターンとしての格子パターンの一次像がその全体に亘って正確に形成される。ウェハWで反射された光は、受光用対物レンズ37および振動ミラー38を介して、受光用集光レンズ39に入射する。受光用集光レンズ39を介した光は、上述の偏向プリズム33と同様の構成を有するアオリ補正プリズム40に入射する。

【0056】こうして、アオリ補正プリズム40の入射面には、格子パターンの二次像が形成される。なお、アオリ補正プリズム40の入射面には、遮光手段としての二次元受光スリットが設けられている。アオリ補正プリズム40の射出面から射出された光は、一對のレンズで構成されるリレー光学系41に入射する。リレー光学系41を介した光は、アオリ補正プリズム40の入射面上に形成された格子パターンの二次像と受光スリットの開口部との共役像を、受光部42の受光面上に形成する。受光面には、受光スリットの複数の開口部に光学的に対応するように、二次元受光センサとしての複数のシリコン・フォト・ダイオードが設けられている。

【0057】なお、格子パターンが形成された偏向プリズム33の射出面とウェハWの露光面、および二次元受光スリットの形成されたアオリ補正プリズム40の入射面とウェハWの露光面とがシャインブルーの条件を満たした共役関係になっている。ここで、ウェハWが投影光学系PLの光軸AXに沿ってZ方向に上下移動すると、アオリ補正プリズム40の入射面上に形成される格子パターンの二次像は、ウェハWの上下移動に対応してパターンのピッチ方向に横ずれを起こす。

【0058】こうして、光電顕微鏡の原理により、格子パターンの二次像の横ずれ量を光電検出し、光電検出した横ずれ量に基づいて投影光学系PLの光軸AXに沿ったウェハWの面位置を検出する。また、二次元多点オートフォーカス方式にしたがって投影光学系PLの光軸AXに沿ったウェハWの面位置を二次元的に検出する。その結果、ウェハステージWSをZ方向に移動させたり、X軸周りおよびY軸周りにチルトさせることにより、投影光学系PLのフォーカス方向にウェハWの面位置を二次元的にアライメントすることができる。なお、光電顕微鏡の原理の詳細については、例えば特開昭56-42205号公報に開示されている。また、二次元多点オートフォーカス方式の詳細については、例えば特開平6-97045号公報に開示されている。

【0059】上述したように、図1の露光装置では、マスクMおよびウェハWを投影光学系PLに対して高精度に位置決めして露光を行う。また、交換したマスクMとウェハWとを高精度に位置合わせして重ね露光を繰り返す。このとき、ウェハWの交換時には、上述のFIA系および二次元AF系により、ウェハWの位置検出が高精度に行われる。そして、ウェハ干渉計WIFおよびウェハステージ制御部により、ウェハWの位置制御が高精度に行われる。こうして、ウェハWへの重ね露光を繰り返すことにより、ウェハWの各露光領域に種々のパターンが形成される。

【0060】本実施形態の露光装置は、投影光学系PLの波面収差を測定するための検査装置を備えている。図2は、図1の検査装置の要部構成を概略的に示す図であって、収差測定系をその光軸に沿って展開した状態を示

す図である。以下、図 1 および図 2 を参照して、本実施形態の検査装置の構成について説明する。本実施形態の検査装置では、被検光学系としての投影光学系 P L の波面収差の測定に際して、マスクステージ M S 上に収差測定用のテストマスク T M が設置される。テストマスク T M には、図 3 に示すように、収差測定用の円形状の開口部 1 0 a が X 方向および Y 方向に沿って複数個（図 3 では 9 個）マトリックス状に形成されている。また、開口部 1 0 a よりも実質的に大きな正形状の開口部 1 0 b が形成されている。

【0061】また、本実施形態の検査装置は、ウェハステージ W S 上においてウェハ W の露光面とほぼ同じ高さ位置（Z 方向位置）に取り付けられた標示板 1 1 を備えている。標示板 1 1 は、たとえばガラス基板からなり、投影光学系 P L の光軸 A X に垂直な、ひいては後述する収差測定系の光軸 A X 1 に垂直な基準平面 1 1 a を有する。この基準平面 1 1 a 上には、図 4 に示すように、その中央部に校正用開口部（光透過部）1 1 b が形成され、その周辺には複数組（図 4 では 4 組）のアライメントマーク 1 1 c が形成されている。

【0062】ここで、校正用開口部 1 1 b は、投影光学系 P L を介して形成されるテストマスク T M の開口部 1 0 a の像よりも大きく設定されている。また、各組のアライメントマーク 1 1 c は、X 方向に沿って形成されたラインアンドスペースパターンと Y 方向に沿って形成されたラインアンドスペースパターンとから構成されている。さらに、校正用開口部 1 1 b および複数のアライメントマーク 1 1 c を除く領域には、反射面 1 1 d が形成されている。反射面 1 1 d は、たとえばガラス基板にクロム（C r）を蒸着することにより形成されている。

【0063】さらに、本実施形態の検査装置は、投影光学系 P L の波面収差を測定するための光学系としての収差測定系を備えている。収差測定系では、投影光学系 P L を介してその像面に形成されたテストマスク T M の開口部 1 0 a の像からの光が、コリメートレンズ 1 2 およびリレーレンズ 1 3 を介して、マイクロフライアイ 1 4 に入射する。マイクロフライアイ 1 4 は、図 5 に示すように、縦横に且つ稠密に配列された正形状の正屈折力を有する多数の微小レンズ 1 4 a からなる光学素子である。マイクロフライアイ 1 4 は、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成されている。

【0064】したがって、マイクロフライアイ 1 4 に入射した光束は多数の微小レンズ 1 4 a により二次元的に分割され、各微小レンズ 1 4 a の後側焦点面の近傍にはそれぞれ 1 つの開口部 1 0 a の像が形成される。換言すると、マイクロフライアイ 1 4 の後側焦点面の近傍には、開口部 1 0 a の像が多数形成される。こうして形成された多数の像は、二次元撮像素子としての C C D 1 5 によって検出される。C C D 1 5 の出力は、信号処理ユ

ニット 1 9 に供給される。このように、マイクロフライアイ 1 4 は、投影光学系 P L の像面に形成されたテストマスク T M の開口部 1 0 a の一次像からの光を波面分割して開口部 1 0 a の二次像を多数形成するための波面分割素子を構成している。

【0065】また、C C D 1 5 は、波面分割素子としてのマイクロフライアイ 1 4 により形成された開口部 1 0 a の多数の二次像を光電検出するための光電検出部を構成している。さらに、コリメートレンズ 1 2、リレーレンズ 1 3、マイクロフライアイ 1 4 および C C D 1 5 は、図 1 に示すように、マスクステージ M S の内部に設けられ、投影光学系 P L の波面収差を測定するための光学系としての収差測定系を構成している。その結果、標示板 1 1 は、収差測定系（1 2 ~ 1 5）に一体的に取り付けられている。

【0066】一般に、露光装置では、照明系（1 ~ 9）から供給される照明光の開口数（N A）が投影光学系 P L の物体側開口数よりも小さく設定されている。したがって、照明系（1 ~ 9）を用いてテストマスク T M の開口部 1 0 a を照明しても、開口部 1 0 a を介した光が不十分な開口数で投影光学系 P L に入射することになる。そこで、本実施形態の検査装置は、投影光学系 P L の物体側開口数 N A p 以上の開口数 N A i で開口部 1 0 a を照明（インコヒーレント照明）するために、図 1 に示すように、照明系（1 ~ 9）とテストマスク T M との間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するためのレモンスキン板 1 6 を備えている。

【0067】図 6 は、レモンスキン板に平行光束が入射したときの散乱特性を示す図である。また、図 7 は、レモンスキン板を設置しないときにテストマスクへ入射する光束の照明 N A 内の輝度分布とレモンスキン板を設置したときにテストマスクへ入射する光束の照明 N A 内の輝度分布とを比較する図である。図 6 および図 7 を参照すると、照明系（1 ~ 9）からの光束の開口数を拡大するためにレモンスキン板 1 6 を設置すると、照明光束の輝度特性が悪化することがわかる。そこで、本実施形態では、照明系（1 ~ 9）の照明光路中に、たとえば二次光源が形成される開口絞り 8 の近傍に挿脱自在に配置されて所定の光強度分布の光束を形成するための濃度フィルタ 1 7 を備えている。

【0068】ここで、図 6 に示すような正規分布形状の散乱特性を有するレモンスキン板 1 6 に対して、図 8 に示すような逆正規分布形状の透過率分布を濃度フィルタ 1 7 に付与することにより、レモンスキン板 1 6 により悪化する照明光束の輝度特性をほぼ均一化することができる。あるいは、開口絞り 8 に代えて輪帯状の開口部を有する輪帯開口絞りを設置して二次光源を輪帯状に制限することにより、図 9 に示すように、レモンスキン板 1 6 により悪化する照明光束の輝度特性をほぼ均一化することもできる。もちろん、濃度フィルタ 1 7 の設置と輪



帯状の開口部を有する輪帯開口絞り8aの設置とを併用することもできる。

【0069】以上のように、レモンスキン板16および濃度フィルタ17（必要に応じて輪帯開口絞り8a）は、照明系（1～9）からの光束の開口数を拡大するための開口数拡大手段を構成している。そして、レモンスキン板16は、照明系（1～9）とテストマスクTMとの間の光路中に挿脱自在に配置されて光束を拡散するための拡散光学部材を構成している。また、濃度フィルタ17（必要に応じて輪帯開口絞り8a）は、レモンスキン板16により悪化する照明光束の輝度特性を均一化するための輝度特性均一化手段を構成している。レモンスキン板16の設置に代えて、テストマスクTMの上側面をレモンスキン加工することもできる。

【0070】一般に、レモンスキン板の散乱特性は、レモンスキン板を作る際の砥石の面あらしと、表面を酸で化学処理する際の加工時間の差とにより、ある程度変化させることができる。なお、レモンスキン板16に代えて、現在技術進歩の著しいDOE（回折光学素子：ディフラクティブ・オプティクス・エレメント）を使用し、開口数の拡大された光束の照明NA内の輝度特性をほぼ均一に維持することも可能である。DOEは、通常ガラスプレート上にホトリソグラフィで回折パターンを形成することにより構成され、散乱光の輝度特性を一定角度までほぼ均一にするような特性を有するDOEも開発されている。したがって、拡散光学部材としてDOEを使用する場合には、濃度フィルタ17の設置や輪帯状の開

口部を有する輪帯開口絞り8aの設置を省略することもできる。なお、近年において、露光装置の照明系から供給される照明光の開口数は大きくなる傾向にある。ここで、露光装置の照明系から供給される照明光の開口数が投影光学系PLの物体側開口数よりも十分に大きく設定されている場合（例えば $\sigma \geq 1$ である場合）には、開口数拡大手段としてのレモンスキン板16を用いることなく測定を行うことも可能である。

【0071】本実施形態では、上述したように、投影光学系PLの物体側開口数NA<sub>p</sub>以上の開口数NA<sub>i</sub>で開口部10aを照明する。この場合、図10に示すように、収差測定系のマイクロフライアイ14の各微小レンズ14a毎に互いに独立な多数の結像光学系が存在する

【0072】結像論から考察して、波面収差にチルト成

分（傾き成分）がある場合には、各微小レンズ14aを介して形成される像が位置シフトすることは自明である。すなわち、平均的な波面傾き量に対して、像の位置ズレが発生することになる。換言すると、各結像光学系毎に、部分的な波面傾き量に応じた像の位置ズレがそれぞれ発生することになる。このときの各像の状態は、極小ピンホールを用いて発生させた球面波に基づいて形成される従来の点像の状態と同じである。したがって、従来技術と同様の信号処理によって波面収差の測定が可能となる。

【0073】具体的には、投影光学系PLに波面収差が残存していない場合、開口部10aの各像の光量重心位置は測定用の各原点位置に形成される。後述するように、収差測定系に波面収差などに起因する誤差がない場合、測定用の各原点位置は、マイクロフライアイ14の各微小レンズ14aの光軸上に設定される。実際には、投影光学系PLに波面収差が残存しているため、開口部10aの各像の光量重心位置は測定用の各原点位置から位置ずれる。したがって、本実施形態では、CCD15の出力に含まれる上述の位置ずれ情報に基づいて、投影光学系PLの波面収差を測定することになる。

【0074】ただし、本実施形態では、CCD15において解像可能な大きさの開口部10aを結像させる方式であるため、開口部10aを従来のように極小ピンホールとして形成して球面波を発生させる必要はない。すなわち、従来技術では正確な球面波を発生させるために真円度の高い極小のピンホールを形成する必要があるが、本実施形態では開口部10aの形状は円形状に限定されることがない。また、開口部10aからCCD15までの光路における透過率は収差測定系を構成する光学部材の透過率に依存して決定され、極小ピンホールを用いる従来技術の場合のような回折による輝度の劣化は起こらない。その結果、撮像素子であるCCD15に対して、極小ピンホールを用いる従来技術の場合に比して著しく大きな照度を提供することが可能となる。

【0075】以下、本実施形態の検査装置を用いて投影光学系PLの波面収差を測定する動作について説明する。本実施形態では、上述したように、収差測定系（12～15）に一体的に取り付けられた標示板11が設けられている。そして、標示板11の基準平面11a上には、クロム膜などをエッチングすることによりアライメントマーク11cが形成されているとともに、必要十分な面精度で加工された反射面11dが形成されている。したがって、露光装置に搭載された前述のFIA系を用いて、アライメントマーク11cに基づいて、XY平面に沿った標示板11の位置を、ひいてはXY平面に沿った収差測定系の位置を検出することができる。

【0076】また、露光装置に搭載された前述の斜入射式の二次元AF系を用いて、反射面11dへ斜め方向から光束を入射させ反射面11dで反射された光束に基づ

いて、Z方向に沿った標示板11の面位置を、ひいては収差測定系のZ方向位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾きを検出することができる。さらに、露光装置に搭載された前述のウェハ干渉計WIFおよびウェハステージ駆動部の作用により、ウェハWと同じ程度に高精度なアライメント（位置合わせ）および位置制御を迅速に行うことができる。

【0077】被検光学系である投影光学系PLに対して収差測定系がX方向、Y方向、Z方向などに位置ずれしていると、チルト成分やデフォーカス成分のような低次の波面収差成分が大きく発生する。そこで、波面収差を測定するために、収差測定系の位置ずれを波面収差測定ストローク内に追い込む必要がある。さらに、波面収差の測定精度を向上させるために、上述のような低次の波面収差成分をできるだけ追い込んだ状態で波面収差の測定をすることが望ましい。標示板11を設置することにより、収差測定系の正確で迅速な位置制御が可能になり、上述の追い込み動作が容易になる。その結果、投影光学系PLのフォーカス面の絶対位置計測やディストーションの絶対値計測精度を向上させることができる。

【0078】具体的には、ウェハステージWSを駆動して、収差測定系を投影光学系PLの露光視野領域内へ、ひいては二次元AF系の検出視野領域内へ移動させる。その状態で、二次元AF系を用いて、投影光学系PLの像面に対して標示板11の基準平面11aを位置合わせする。すなわち、標示板11の基準平面11aのZ方向に沿った位置、X軸周りの傾き、およびY軸周りの傾きを検出し、基準平面11aが投影光学系PLの像面にほぼ一致するようにアライメント調整する。次に、ウェハステージWSをXY平面に沿って駆動して、収差測定系をFIA系の検出視野領域内へ移動させる。そして、FIA系を用いて、標示板11上のアライメントマーク11cを位置検出することにより、収差測定系の光軸AX1のXY平面に沿った位置を検出する。

【0079】なお、標示板11上のアライメントマーク11cと収差測定系の光軸AX1との間の位置関係情報は、通常のウェハアライメントと同様に、予め制御ソフトにデータとして認識されている。また、アライメントマーク11cが複数組あるので、EGA（エンハンス・グローバル・アライメント）により、すなわち複数データの平均化効果により、さらに高精度な位置検出が可能となる。こうして、テストマスクTMに設けられた複数の開口部のうち、恣意的に選択された第1番目の開口部10aの像が投影光学系PLを介して形成される位置に対して、収差測定系を初期的に位置決めする。

【0080】すなわち、収差測定系が初期的に正確に位置決めされた状態において、投影光学系PLを介して形成された第1番目の開口部10aの像の中心点と収差測定系の光軸AX1とがXY平面内において一致する。すなわち、図11に示すように、開口部10aの像10i

の中心点と標示板11の校正用開口部11bの中心点とがXY平面内において一致する。この初期状態において、CCD15の出力に基づいて投影光学系PLの波面収差を測定する。この測定結果から、チルト成分、パワー成分（デフォーカス成分）、および非点隔差成分（アス成分）を求め、チルト成分からディストーションの絶対値を、パワー成分からフォーカス面（像面）の絶対位置を、非点隔差成分から像面隔差をそれぞれ求めることができる。

【0081】次に、チルト成分およびパワー成分ができるだけ小さくなるように、収差測定系を微動させる。このときの収差測定系のX方向の微動量 $\Delta x$ およびY方向の微動量 $\Delta y$ に基づいてディストーションの絶対値を、収差測定系のZ方向の微動量 $\Delta z$ に基づいてフォーカス面の絶対位置をそれぞれ求めることもできる。こうして、チルト成分およびパワー成分をできるだけ小さく追い込んだ状態で、CCD15の出力に基づいて投影光学系PLの波面収差を最終的に高精度に測定する。

【0082】上述の波面収差の測定動作は、テストマスクTMに設けられた残りの複数の開口部について同様に順次行われる。このように、標示板11を用いてテストマスクTMの第1番目の開口部に対する収差測定系の位置設定が終了した後は、露光装置の本来の焼き付け動作と同様に、二次元AF系で標示板11の高さ位置を常に位置合わせすると共に、ウェハ干渉計WIFの出力情報に基づいてウェハステージWSのXY平面に沿った位置を制御して、投影光学系PLの任意座標位置での波面収差の測定（すなわちテストマスクTMの残りの複数の開口部に対する波面収差の測定）を実施することができる。

【0083】上述のように、本実施形態では、収差測定系の初期的な測定結果であるチルト成分やパワー成分に基づいて所望の値だけ収差測定系を微動させ、チルト成分やパワー成分が小さくなるように追い込むことが可能である。この機能により、高速な位置制御に基づく高精度な波面収差の測定が可能になる。なお、投影光学系PLの波面収差の測定は、投影光学系PLの初期的な調整・検査時のみならず、その後の点検時にも行われる。点検時における波面収差の測定は、露光装置の本来の目的であるデバイスの製造を一次的に止めて行われるので、作業の迅速性が要求される。この場合、本実施形態の位置制御の容易性および迅速性は非常に重要な要素となる。

【0084】ところで、露光装置に搭載された投影光学系PLの波面収差を正確に測定するには、収差測定系自体で発生する波面収差などの影響をどのように処理するかが問題となる。本実施形態の収差測定系には、コリメートレンズ12、リレーレンズ13、マイクロフライアイ14、CCD15、ミラー（図1参照）などの光学部材が用いられている。これらの光学部材の製造誤差は、



投影光学系 P L の波面収差の測定時にその測定値に上乘せされる。収差測定系自体で発生する波面収差などの測定値への影響を小さく抑えるには、収差測定系を構成する各光学部材の公差を非常に厳しく設定し、被検光学系である投影光学系 P L の波面収差発生量に比して収差測定系の波面収差発生量を十分に小さく抑える方法、あるいは収差測定系自体で発生する波面収差などの影響を予め把握して測定値を補正する方法が考えられる。

【0085】本実施形態のように、被検光学系が露光装置に搭載される投影光学系 P L の場合、投影光学系 P L に比して収差測定系の波面収差発生量を十分に小さく抑えることは現実的に不可能に近い。なぜなら、露光装置の投影光学系 P L に残存している波面収差量が元々非常に小さい値に抑えられているからである。一方、収差測定系を構成するレンズ部品やミラー部品の面精度を厳しく設定するためには、光学材料（光学ガラス）自体の均一性を向上させたり、面精度を測定する干渉計の絶対値精度を向上させなければならない。

【0086】干渉計の精度を向上させるためには、干渉計を構成するフィゾーレンズや参照球面ミラー等の部品レベルでの精度の向上および誤差の把握が必要となる。面精度を向上させるための研磨機自体にも更に厳しい精度が要求され、場合によっては部分的に面精度を補正する部分修正研磨技術なども適用しなければならない。このように列挙していくと、収差測定系自体の波面収差発生量を投影光学系 P L に比して十分に小さく抑えることがいかに困難であるかがわかる。したがって、収差測定系自体の波面収差発生量をある程度許容できる範囲に抑え、収差測定系の誤差に基づいて測定値を補正すること、すなわち収差測定系について自己キャリブレーションを行うことにより収差測定系自体で発生する波面収差などの影響を補正するのが望ましいことがわかる。

【0087】以下、図 12 を参照して、本実施形態における収差測定系の自己キャリブレーションの手順を説明する。まず、収差測定系の自己キャリブレーションに際して、テストマスク T M の正方形形状の開口部 10 b（図 3 参照）の像が投影光学系 P L を介して形成される位置に収差測定系を位置決めする。この状態で、照明系（1～9）からの照明光が、投影光学系 P L を介して、標示板 11 の校正用開口部 11 b を照明することになる。ここで、投影光学系 P L を介して標示板 11 上に形成される照明領域（開口部 10 b の像）は、校正用開口部 11 b よりも実質的に大きい。

【0088】こうして、校正用開口部 11 b からの光が、コリメートレンズ 12、リレーレンズ 13 およびマイクロフライアイ 14 を介して、CCD 15 の受光面上に校正用開口部 11 b の多数の像を形成する。設計値では、校正用開口部 11 b の各像が、マイクロフライアイ 14 の各微小レンズ 14 a の光軸上に整然と並んで形成されるはずである。しかしながら、収差測定系の波面収

差、マイクロフライアイ 14 の製造誤差、CCD 15 の受光素子の配列誤差等により、実際に測定される各開口部像の光量重心位置は設計上仮定した理想位置から位置ずれしてしまう。

【0089】ここで、発生した各開口部像の位置ずれは、収差測定系にのみ起因するものであって、投影光学系 P L の波面収差などの影響を受けていない。なぜなら、図 12 の自己キャリブレーション状態において、投影光学系 P L は、照明系と収差測定系との間の光路中に配置された照明リレー光学系の機能を果たしているに過ぎないからである。そこで、本実施形態では、自己キャリブレーションで得られた各開口部像の位置を測定用の各原点に設定する。そして、設定した測定用の各原点に基づいて波面収差の測定を行うことにより、収差測定系自体が発生する波面収差などの誤差が投影光学系 P L の測定結果に実質的に影響することなく、精度の高い波面収差測定を行うことができる。なお、本実施形態では、校正用開口部 11 b が収差測定系に一体的に取り付けられた標示板 11 上に形成されているので、自己キャリブレーション用の開口部をキャリブレーションの度に設置する方法と比べて、開口部の位置ずれに起因する誤差は発生しない。

【0090】また、被検光学系の波面収差の測定に際して発生する誤差として、実際に波面収差を測定する測定時における環境と自己キャリブレーション時における環境との違いによる誤差が考えられる。具体的には、波長の変動に起因する誤差、温度の変動に起因する誤差、気圧の変動に起因する誤差等が挙げられる。これらの環境変動は、すべて収差測定系の測定誤差の原因となるが、主に影響を受ける成分は 3 次収差以下の低次収差（幾何光学でいうザイデルの 5 収差までの収差）である。

【0091】ここで、波長の変動に起因する誤差、および気圧の変動に起因する誤差は収差測定系に影響を与えるが、その誤差の発生量はほぼ設計値通りであって、ソフト的に予想可能であると考えられる。したがって、自己キャリブレーション時に所定の気圧および所定の波長における誤差を測定し、測定した誤差に基づいて気圧の変動および波長の変動に起因する誤差の変化を予測することができる。具体的には、測定時における実際の気圧および波長と自己キャリブレーション時における気圧および波長との間の変動量を求め、求めた変動量および自己キャリブレーション時における発生誤差量に基づいて、実際の測定時における発生誤差量を求めることが可能である。

【0092】一方、温度の変動に起因する誤差に関しては、自己キャリブレーション時に複数の温度条件の元で発生する誤差を測定し、測定した複数の誤差に基づいて温度の変動に起因する誤差の変化を予測することができる。具体的には、測定時における実際の温度と自己キャリブレーション時における複数の測定温度のうち実際の

温度に最も近い測定温度との間の変動量を求め、求めた変動量および自己キャリブレーション時における発生誤差量に基づいて、内挿法（あるいは外挿法）により実際の測定時における発生誤差量を求めることが可能である。

【0093】なお、図12の自己キャリブレーション状態において、校正用開口部11bに対するインコヒーレント照明の条件を満たすために、投影光学系PLの瞳に配置された開口絞りASの可変開口部の径を必要以上に（たとえば最大限に）拡大するとともに、テストマスクTMの開口部10bを投影光学系PLの光軸AXの近傍に設定することが望ましい。また、投影光学系PLと標示板11との間の光路中にレモンスキン板18のような拡散光学部材を設置することが望ましい。

【0094】しかしながら、事前に自己キャリブレーションが行われており、波長や気圧や温度の変動に起因する誤差のみを補正したいときには、誤差量が低次収差のみで且つ小さいことから、インコヒーレント照明の条件を必ずしも満たす必要はない。インコヒーレント照明の条件を満たさない場合、マイクロフライアイ14の周辺部の微小レンズには光が入射しないが、中央部の微小レンズを介して形成される像の位置ずれに基づいて誤差の補正が可能となる。つまり、事前に自己キャリブレーションを行って各原点位置を求めておき、ある程度の測定精度で随時測定可能に設定しておき、その後の実測定前のキャリブレーションでは各原点位置にオフセットを加えてもよい。このように、自己キャリブレーションによる補正方法は種々考えられるが、収差測定系自体で発生する波面収差などの影響を補正することには変わりはない。

【0095】こうして、上述の実施形態にかかる露光装置では、自己キャリブレーションにより収差測定系（1～9）の誤差を測定する（誤差測定工程）。測定された誤差は、たとえばCCD15に接続された信号処理ユニット19（図2および図10参照）のメモリ部に記憶される。そして、収差測定系を用いて被検光学系としての投影光学系PLの波面収差を測定し（収差測定工程）、自己キャリブレーションで測定した誤差情報に基づいて、投影光学系PLの波面収差測定値を補正する（補正工程）。こうして、補正された投影光学系PLの波面収差に基づいて、投影光学系PLを調整する（調整工程）。投影光学系PLの調整に際して、たとえばレンズを微動させたり、レンズ間の圧力を制御したり、収差補正用の光学部材を挿入したりする。

【0096】次いで、照明系によってマスクを照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板上に走査露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、図1に示す本実施形態の露光装置を

用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図13のフローチャートを参照して説明する。

【0097】まず、図13のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、図1に示す露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系（投影光学モジュール）を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0098】また、図1に示す露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図14のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図14において、パターン形成工程401では、各実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0099】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター

形成工程402にて得られたカラーフィルタとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0100】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0101】なお、上述の実施形態において、193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザー光源や157nmの波長の光を供給するF<sub>2</sub>レーザー光源などを用いる場合、酸素による光吸収を回避するために、光源から感光性基板までの光路および収差測定系中の光路が窒素やヘリウムなどの不活性ガスで満たされることになる。この場合、汚れた空気に触れることにより収差測定系中のレンズ面に曇りが発生することのないように、たとえば不活性ガスで満たされた袋または容器に収差測定系を収容して輸送することが好ましい。

【0102】また、上述の実施形態では、エキシマレーザー光源を備えた露光装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、図15に示すように、たとえば超高圧水銀ランプを光源とする露光装置に本発明を適用することもできる。この場合、図15に示す変形例にかかる露光装置において、たとえばi線の輝線を含む光を供給する超高圧水銀ランプ51が、光軸AXに関して回転対称な楕円反射面を有する楕円鏡52の第1焦点位置に位置決めされている。したがって、光源51から射出された照明光束は、楕円鏡52の第2焦点位置に光源像を形成する。

【0103】楕円鏡52の第2焦点位置に形成された光源像からの発散光束は、反射ミラー53で偏向され、コリメートレンズ54によりほぼ平行光束に変換された後、波長選択フィルター（不図示）を介して、波面分割型のオプティカルインテグレータであるフライアイレンズ7に入射する。以下、フライアイレンズ7以降の構成は、図1の実施形態と同様である。なお、波長選択フィルターでは、たとえばi線の光（365nm）だけが露光光として選択される。あるいは、たとえばg線（436nm）の光とh線（405nm）とi線の光とを同時に選択することもできるし、g線の光とh線の光とを同時に選択することもできるし、h線の光とi線の光とを同時に選択することもできる。

【0104】さらに、上述の実施形態では、露光装置に組み込まれた検査装置に本発明を適用しているが、図16に示すように、たとえばウェハステージと類似の専用ステージを有する検査装置に本発明を適用することもできる。この場合、図16に示す変形例にかかる検査装置は、図1の露光装置の照明系と同じ構成を有する照明系と、図1の露光装置のウェハステージと類似の構成を有

する専用ステージSSとを備えているが、FIA系および斜入射方式のAF系を備えていない。これらのアライメント系に代えて、専用ステージSSは、そのY方向の移動量を計測するための第1干渉計IF1と、X方向の移動量を計測するための一対の第2干渉計IF2および第3干渉計IF3とを備えている。図16に示す変形例にかかる検査装置では、露光装置に搭載すべき投影光学系PLや他の適当な被検光学系SLの波面収差が測定される。

【0105】ところで、図16に示す変形例にかかる検査装置では、図1の露光装置の照明系と同じ構成を有する照明系を用いているが、図17に示すように専用の照明ユニットを有する検査装置に本発明を適用することもできる。この場合、図17に示す変形例にかかる検査装置では、光源（不図示）からの光がライトガイド61によって伝播された後、コンデンサーレンズ62を介して、テストマスクTMの開口部を照明する。なお、ライトガイド61の射出端およびコンデンサーレンズ62は、支持体63によって一体的に支持されている。

【0106】ここで、照明ユニット（61～63）は、露光装置に搭載すべき投影光学系PLや他の適当な被検光学系SLの物体側開口数以上の開口数でテストマスクTMを照明するように構成されている。なお、照明ユニット（61～63）がテストマスクTM上に形成する照明領域の大きさが充分でない場合には、支持体63をXY平面に沿って二次元的に移動させ、テストマスクTMの複数の開口部を順次照明しながら、投影光学系PLまたは被検光学系SLの波面収差を測定することになる。

【0107】また、上述の実施形態では、露光装置の照明系を用いるとともに投影光学系PLを照明リレー光学系として機能させて収差測定系の自己キャリブレーションを行っているが、図18に示すように、図17に示す変形例の照明ユニットと類似の専用照明ユニットを用いて自己キャリブレーションを行うこともできる。すなわち、図18に示す変形例では、光源（不図示）からの光がライトガイド61によって伝播された後、コンデンサーレンズ62を介して、標示板11の校正用開口部11bを照明する。このとき、照明ユニット（61、62）は、収差測定系の物体側開口数以上の開口数で標示板11を照明するように構成されている。こうして、上述の実施形態と同様に、収差測定系の誤差を測定することができる。

【0108】ところで、図18に示す変形例では、専用の照明ユニットを用いて収差測定系の自己キャリブレーションを行っているが、図19に示すように、図1の実施形態の照明系と照明リレー光学系とを用いて自己キャリブレーションを行うこともできる。すなわち、図19に示す変形例では、図1の実施形態の照明系と同じ構成を有する照明系からの光が、照明リレー光学系71を介して、標示板11の校正用開口部11bを照明する。こ

のとき、照明リレー光学系 71 は、収差測定系の物体側開口数以上の開口数で標示板 11 を照明するように構成されている。こうして、上述の実施形態と同様に、収差測定系の誤差を測定することができる。

【0109】さらに、上述の実施形態では、標示板 11 の中央に形成された校正用開口部 11b の像を CCD 15 の受光面上に形成させることによって収差測定系の自己キャリブレーションを行っているが、図 20 に示すように、極小ピンホールを介して発生させた球面波に基づいて自己キャリブレーションを行うこともできる。すなわち、図 20 に示す変形例では、CCD 15 の受光面と光学的に共役な位置に、極小ピンホールが形成された工具 81 を位置決めする。

【0110】したがって、図 20 に示す変形例の場合、CCD 15 の受光面と光学的に共役な面と標示板 11 の基準平面 11a との間には所定の間隙（ギャップ）が形成されることになる。この状態で工具 81 を照明すると、その極小ピンホールから発生した球面波が、コリメートレンズ 12、リレーレンズ 13、およびマイクロフライアイ 14 を介して、CCD 15 の受光面に極小ピン

ホールの像（集光点）を多数形成する。こうして、上述の実施形態と同様に、収差測定系の誤差を測定することができる。

【0111】ところで、図 21 に示すように、図 1 の露光装置に対して、図 20 に示す変形例を適用することもできる。この場合、収差測定系の自己キャリブレーションに際して、極小ピンホールが形成されたテストマスク TM が設置される。この状態で照明系（1～9）がテストマスク TM を照明すると、その極小ピンホールから発生した球面波が、投影光学系 PL、コリメートレンズ 12、リレーレンズ 13、およびマイクロフライアイ 14 を介して、CCD 15 の受光面に極小ピンホールの像（集光点）を多数形成する。こうして、上述の実施形態と同様に、たとえば環境の変動に起因する収差測定系の誤差の変化などを測定することができる。

#### 【0112】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、被検光学系の物体側開口数以上の開口数で被検光学系の物体面に位置決めされた開口部を照明（インコヒーレント照明）し、被検光学系の像面に形成された開口部の一次像からの光を波面分割して、たとえば CCD のような光電検出部の受光面上に開口部の二次像を多数形成する方式を採用している。その結果、本発明では、球面波を発生させるための極小ピンホールを用いることなく、十分な測定光量に基づいて高精度な収差測定を行うことができる。

【0113】また、本発明では、被検光学系の波面収差を測定するための収差測定系に一体的に取り付けられた標示板と、この標示板の位置を検出するための位置検出系とを備えている。この標示板には、たとえばアライメ

ントマークおよび反射面が形成されているので、アライメントマークや反射面を利用して、収差測定系の位置を迅速に且つ高精度に検出することができる。その結果、本発明では、収差測定系の初期的な位置設定および位置制御を迅速に且つ高精度に行うことができ、ひいては迅速に且つ正確な収差測定を行うことができる。

【0114】さらに、本発明では、上述の標示板に校正用の開口部が形成されているので、この校正用開口部を照明することにより、CCD の受光面上に多数の像が形成される。設計値では、校正用開口部の各像が整然と並んで形成されるはずであるが、収差測定系の波面収差などの影響により、実際に測定される各開口部像の光量重心位置は設計上仮定した理想位置から位置ずれしてしまう。そこで、本発明では、上述の自己キャリブレーションで得られた各開口部像の位置を測定用の各原点に設定する。その結果、設定した測定用の各原点に基づいて波面収差の測定を行うことにより、収差測定系自体が発生する波面収差などの誤差が被検光学系の測定結果に実質的に影響することなく、精度の高い波面収差測定を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態にかかる検査装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】図 1 の検査装置の要部構成を概略的に示す図であって、収差測定系をその光軸に沿って展開した状態を示す図である。

【図 3】投影光学系の波面収差の測定に際してマスクステージ上に設置されるテストマスクの構成を概略的に示す図である。

【図 4】収差測定系に一体的に取り付けられた標示板の構成を概略的に示す図である。

【図 5】収差測定系における波面分割素子としてのマイクロフライアイの構成を概略的に示す図である。

【図 6】レモンスキン板に平行光束が入射したときの散乱特性を示す図である。

【図 7】レモンスキン板を設置しないときにテストマスクへ入射する光束の照明 NA 内の輝度分布とレモンスキン板を設置したときにテストマスクへ入射する光束の照明 NA 内の輝度分布とを比較する図である。

【図 8】濃度フィルタに付与された逆正規分布形状の透過率分布を示す図である。

【図 9】輪帯開口絞りを介して二次光源を輪帯状に制限することによりレモンスキン板により悪化する照明光束の輝度特性をほぼ均一化される様子を示す図である。

【図 10】収差測定系のマイクロフライアイの各微小レンズ毎に互いに独立な多数の結像光学系が存在する様子を示す図である。

【図 11】標示板の校正用開口部の中央にテストマスクの開口部の像が形成されている様子を示す図である。

【図 12】本実施形態における収差測定系の自己キャリ

ブレーションの手順を説明する図である。

【図 13】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図 14】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【図 15】超高圧水銀ランプを光源とする露光装置に本発明を適用した変形例を示す図である。

【図 16】図 1 のウェハステージと類似の専用ステージを有する検査装置に本発明を適用した変形例を示す図である。

【図 17】専用の照明ユニットを有する検査装置に本発明を適用した変形例を示す図である。

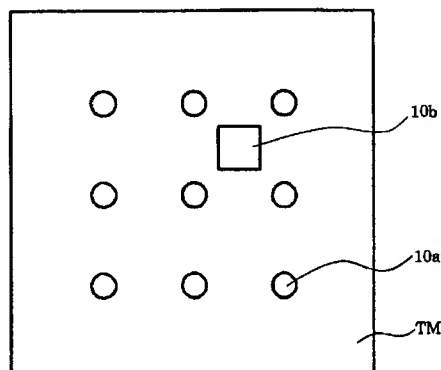
【図 18】図 17 に示す変形例の照明ユニットと類似の専用照明ユニットを用いて自己キャリブレーションを行う変形例を示す図である。

【図 19】図 1 の実施形態の照明系と照明リレー光学系とを用いて自己キャリブレーションを行う変形例を示す図である。

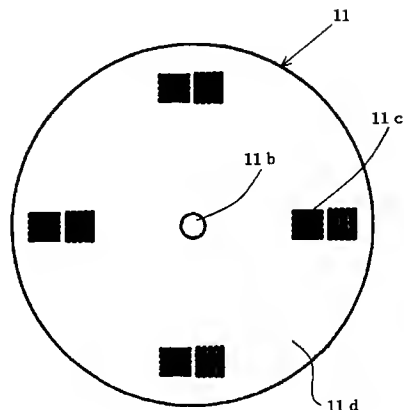
【図 20】極小ピンホールを介して発生させた球面波に基づいて自己キャリブレーションを行う変形例を示す図である。

【図 21】図 1 の露光装置に対して図 20 に示す変形例を適用して自己キャリブレーションを行う変形例を示す図である。

【図 3】



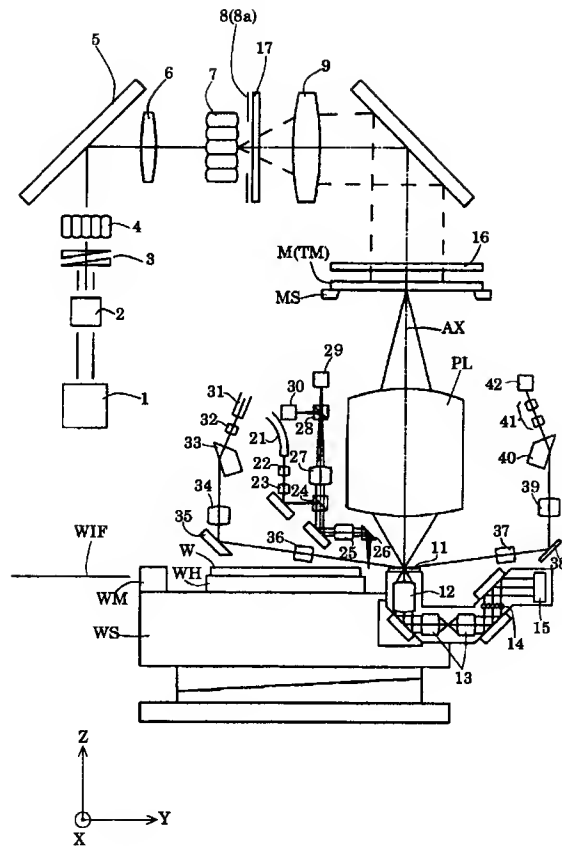
【図 4】



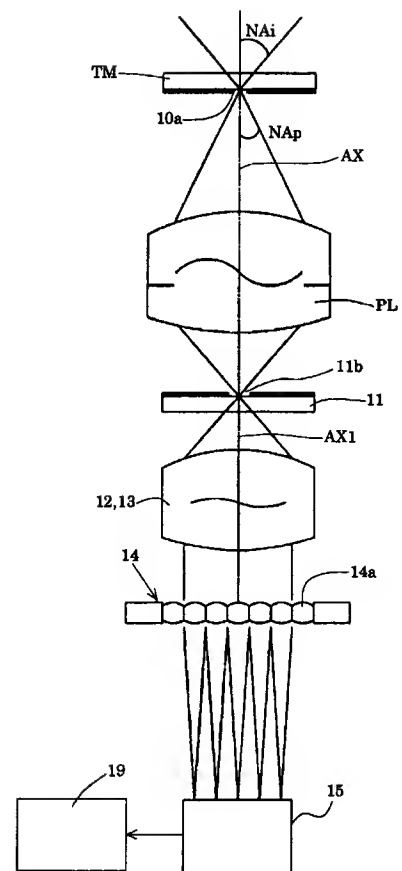
## 【符号の説明】

- 1 光源
- 2 ビーム整形光学系
- 3 干渉性低減部
- 4, 7 フライアイレンズ
- 5 振動ミラー
- 6 リレー光学系
- 8 開口絞り
- 9 コンデンサー光学系
- 10 11 標示板
- 12 コリメートレンズ
- 13 リレーレンズ
- 14 マイクロフライアイ
- 15 CCD
- 16, 18 レモンスキン板
- 17 濃度フィルタ
- 19 信号処理ユニット
- M マスク
- MS マスクステージ
- 20 TM テストマスク
- PL 投影光学系
- W ウェハ
- WS ウェハステージ

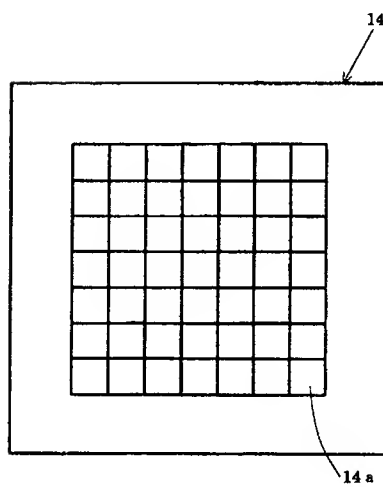
【図1】



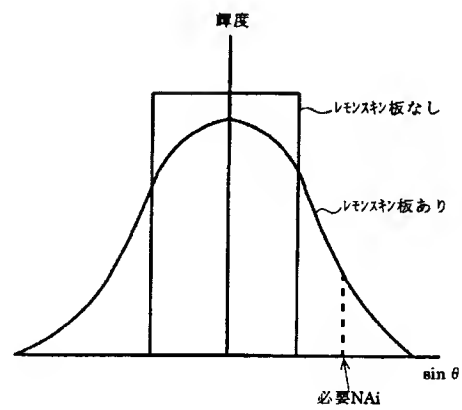
【図2】

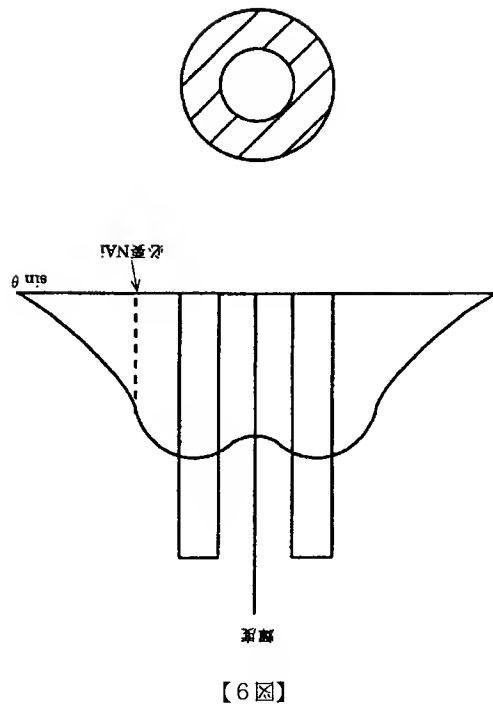


【図5】

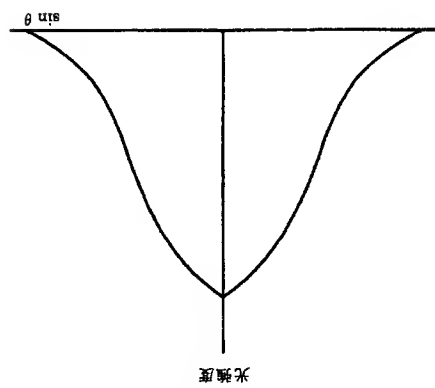


【図7】

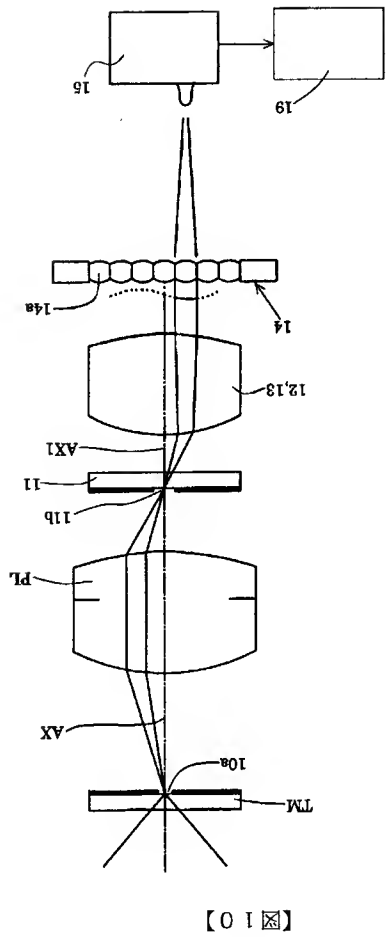
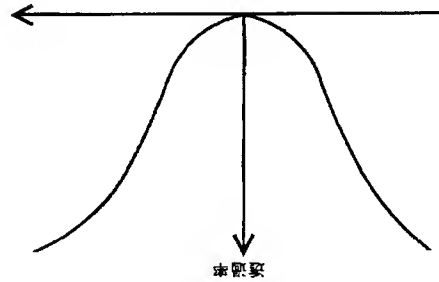




【図6】

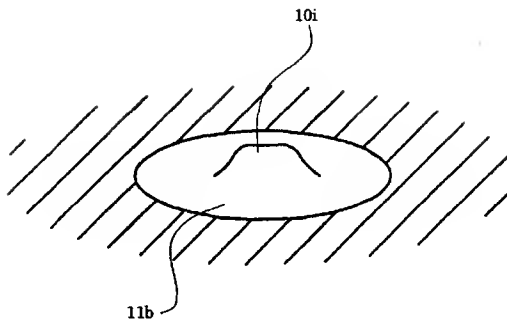


【図8】

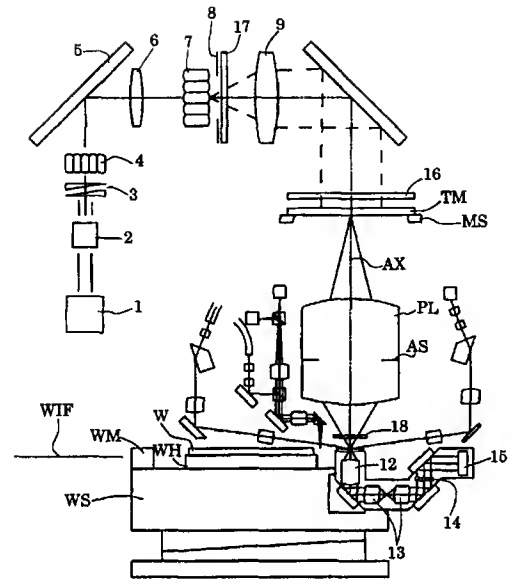


【図10】

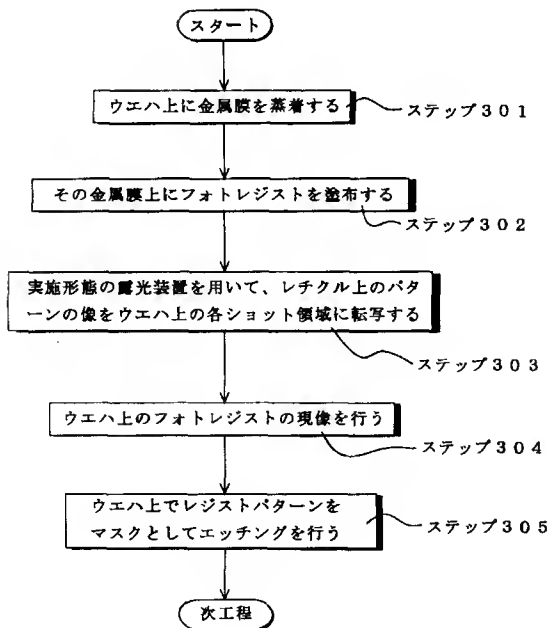
【図11】



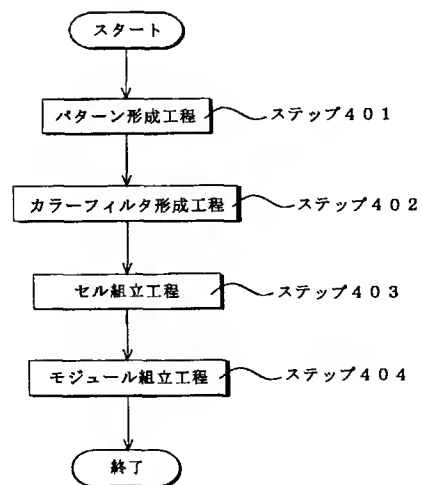
【図12】



【図13】



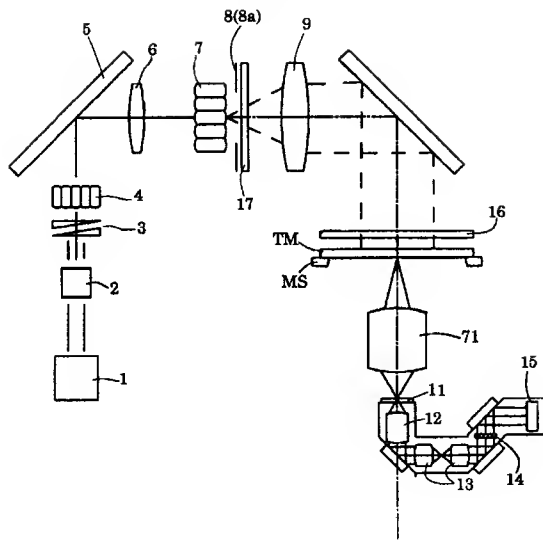
【図14】



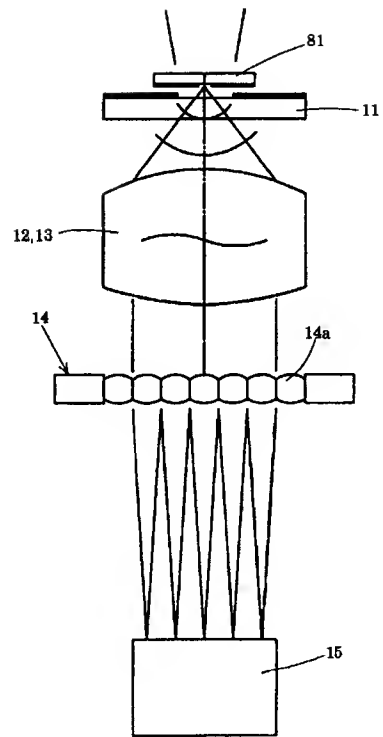




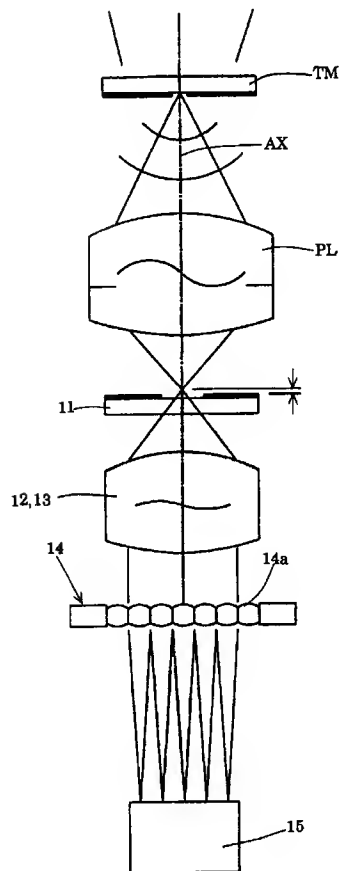
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA45 BB27 CC20 EE01 EE08  
FF04 FF67 FF69 GG04 HH13  
JJ26 LL04 LL10 LL25 LL30  
LL49 PP12 UU05 UU07  
2G086 HH06  
5F046 AA25 BA03 CB17 DA13 DB01  
DC12 EA03 EA09 EB03 EC05